

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. habil. H. Heuser

Vergleichende Untersuchungen der Modellmaterialien Duroc und Glastone

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Uwe Herrnsdorf
aus Limburg

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. habil. H. Heuser

Vergleichende Untersuchungen der Modellmaterialien Duroc und Glastone

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Uwe Herrnsdorf

aus Limburg

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 14. Juli 1966

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. O. Braun-Falco

Referent: Prof. Dr. H. Pantke

Korreferent: Prof. Dr. Dr. H. Heuser

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet



Inhaltsverzeichnis

Seite

<u>A. Gedanken zur indirekten Inlaytechnik</u>	1
<u>B. Vergleichende Untersuchungen der Modellmaterialien</u>	
<u>DUROC und GLASTONE</u>	4
I. Die Modellmaterialien	
1. Einteilung der Modellmaterialien	
2. Die Modellmaterialien auf Gipsbasis	5
a) Allgemeines	
b) Zusammensetzung und Eigenschaften der Modellmaterialien DUROC und GLASTONE	6
II. Eigene Untersuchungen	8
1. Bestimmung der linearen Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe eines Meßmikroskopes	
a) Versuchsanordnung	
b) Untersuchungsergebnisse	17
aa) DUROC und GLASTONE im vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis	
bb) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis 20:100	21
cc) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis 28:100 bzw. 30:100	25
dd) Zusammenfassung der Ergebnisse	28
2. Bestimmung der linearen Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe des Quellungsmeßgerätes nach H. LEHMANN	30
a) Versuchsanordnung	
b) Untersuchungsergebnisse	32
aa) DUROC und GLASTONE im vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis	
bb) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis 20:100	37
cc) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis 28:100 bzw. 30:100	39
dd) Zusammenfassung der Ergebnisse	42

3. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von DUROC und GLASTONE in Abhängigkeit von LASTIC 55	Seite 43
a) Mikroskopische Vermessung von Arbeitsmo- dellen, die von einem stilisierten Kro- nenstumpf gewonnen wurden	45
aa) Versuchsanordnung	
bb) Untersuchungsergebnisse	51
b) Mikroskopische Vermessung der Spaltbrei- ten zwischen Inlay und Kavität	54
aa) Versuchsanordnung	
bb) Untersuchungsergebnisse	56
4. Vergleichende Untersuchungen der Oberflä- chenbeschaffenheit der Modellmaterialien DUROC, GLASTONE, MOLDANO und PALAVIT M	58
a) Oberflächenbeschaffenheit der verschie- denen Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas	
aa) Versuchsanordnung	
bb) Untersuchungsergebnisse	63
b) Oberflächenbeschaffenheit verschiedener Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55	
aa) Versuchsanordnung	
bb) Untersuchungsergebnisse	65
III. Diskussion der Ergebnisse	68
C. <u>Zusammenfassung</u>	71
D. <u>Literaturverzeichnis</u>	72

A. Gedanken zur indirekten Inlaytechnik

Zur Herstellung von Gußfüllungen sind zwei Verfahren bekannt, nämlich die direkte und die indirekte Methode.

Die direkte Methode findet ihre Anwendung besonders bei einflächigen Kavitäten, d.h. bei okklusalen Präparationen, bei Präparationen am Zahnhals, Foramen coecum und Foramen palatinum. Sie kann auch bei approximal-okklusalen Kavitäten durchgeführt werden, vorausgesetzt, daß eine kastenförmige Präparation, wie sie BLACK angegeben hat, vorgenommen wurde. Zumeist wird aber bei diesem Kavitätentyp die indirekte Methode bevorzugt, die jedoch bei approximal-okklusalen Kavitäten, bei denen die sogenannte Scheibenschnittpräparation durchgeführt wurde, unumgänglich notwendig ist.

Bei der indirekten Methode wird mit Hilfe eines Abdruckes ein Modell von dem betreffenden Zahn und damit von der Kavität hergestellt. Zu den Vorteilen dieser Methode zählt HARNDT u.a. die genaue Kontrolle der zervikalen Abschnitte der Wachsmodellation und des fertigen Gußstückes. Weiterhin bezeichnet er es als vorteilhaft, daß die Modellation auf dem Modellstumpf nicht nur exakter, sondern auch einfacher als in der Mundhöhle durchzuführen ist, was insbesondere für mehrflächige Kavitäten gilt. Darüber hinaus findet keine Behinderung durch den Speichel statt. Ferner läßt sich die Politur des Gußstückes besser und schneller durchführen.

Als Nachteil wertet HARNDT den Zeitaufwand am Patienten selbst, der durch die beiden Abdrücke entsteht, da sowohl ein Abdruck von der Kavität als auch ein Abdruck von der Zahnreihe genommen werden muß. "Ferner steigt durch die Einschaltung der beiden Abdrücke die Möglichkeit der Fehlerquellen." (HARNDT). Welche Fehlerquellen hinsichtlich Volumenveränderung und Verfälschung zwischen der Präparation und dem fertigen Gußstück auftreten können, ist der nachfolgenden Zusammenstellung von HENNIKE zu entnehmen:

	Volumenveränderung	Verfälschung
Abdruck:	Abformmasse	Abformtechnik Alter des Abdruckes
Modell:	Modellmasse	Isolierung
Modellation:	Wachse	Thermodynamik Lackierung
Einbettung:	Einbettmasse	Einbettmethode
Formung:	Metall	Abkühlen Erstarren
Eingliederung:	Zement	Erhärtungsvorgang therm. Belastung Zwischenschicht

Aus der obigen Aufstellung geht eindeutig hervor, daß es wohl niemals gelingen wird, eine Gußfüllung herzustellen, die völlig konkruent ist mit der präparierten Form, d.h. "es wird wohl nie eine absolute Dimensionsübereinstimmung geben." (HENNIKE).

Dies ist aber auch gar nicht erforderlich, ja sogar ungünstig, denn "ein genau passender Zahnersatz ohne jede Toleranz könnte überhaupt nicht auf dem präparierten Zahn appliziert werden, da bekanntlich in der Feinmechanik genau passende Teile nur durch Erwärmen des umhüllenden Paßteiles ineinander gesetzt werden können. Schließlich ist noch ein geringer Spielraum für den Befestigungszement erforderlich." (SCHWINDLING).

Bevor wir auf die Eigenschaften, die ein Inlay haben muß, eingehen, möchten wir uns mit dem aus der Industrie bekannten Begriff der Passung beschäftigen. "Nach den ISA-Normen versteht man unter Passung die Beziehung zwischen den gefügten Teilen, die sich aus dem Massenunterschied dieser Teile vor dem Fügen ergibt. Man unterscheidet dabei: Spiel-, Übergangs- und Preßpassung." (WEIKART).

Übertragen wir diese Begriffe auf Kavität und Inlay, so ergibt sich

folgendes:

Spielpassung: Das Gußobjekt läßt sich leicht in die präparierte Form setzen.

Preßpassung: Das Gußobjekt ist nur unter Druck einzusetzen.

Übergangspassung: Abweichungen des Gußobjektes von der präparierten Form liegen innerhalb des Toleranzfeldes, wobei das Toleranzfeld nach WEIKART bei Körpern bis zu 10 mm Durchmesser 4 bis 10 μ beträgt.

Für unsere Zwecke kommt nur die Übergangspassung in Frage, bei der für Inlays nach DREYER JOERGENSEN das Toleranzfeld nicht über 5 μ hinausgehen soll. Bei der Spielpassung liegt ein über das vertretbare Maß hinausgehender Spalt zwischen Kavität und Inlay vor, während es bei der Preßpassung durch gewaltsames Einsetzen des Gußobjektes zur Beschädigung der Präparation bzw. zum Absprengen schwacher Kavitätswände kommen kann. Die geforderte Übergangspassung ist nur dann zu erreichen, wenn das Dimensionsverhalten der einzelnen zur Verwendung kommenden Materialien (Abdruckmaterial, Modellwerkstoff, Wachs, Einbettmasse, Metallegierung) aufeinander abgestimmt ist.

Unsere Aufgabe bestand darin, das Dimensionsverhalten der Modellmaterialien DUROC und GLASTONE zu untersuchen. Wir ermittelten zunächst die absoluten Werte. Da aber enge Verknüpfungen zwischen Abdruck- und Modellmaterial bestehen, genügte es nicht, absolute Werte allein anzugeben. Wir haben deshalb unsere Arbeit ausgedehnt und die Modellmaterialien in Abhängigkeit von dem wohl am meisten verwendeten gummielastischen Abdruckmaterial LASTIC 55 betrachtet.

B. Vergleichende Untersuchungen der Modellmaterialien DUROC und

GLASTONE

I. Die Modellmaterialien

1. Einteilung der Modellmaterialien

Die Modellmaterialien werden nach SCHWINDLING entsprechend ihren mineralischen, metallischen und organischen Komponenten in verschiedene Gruppen eingeteilt:

- 1) Hartgipse
- 2) Modellzemente
- 3) Metallische Modellwerkstoffe
 - a) Leichtschmelzende Legierungen
 - b) Amalgame
 - c) Spence-Masse
 - d) Galvanoplastische Modellherstellung
 - e) Metallspritzverfahren
- 4) Kunststoffe

Jede dieser Modellwerkstoffgruppen hat ihre für sie charakteristischen Eigenschaften. So finden wir Expansion und Kontraktion, raue und glatte Oberfläche, lange und kurze Abbindezeit, große und geringe Härte, einfache und komplizierte Handhabung.

In der nachfolgenden Aufstellung von SCHWINDLING sind die Eigenschaften der einzelnen Gruppen übersichtlich zusammengestellt. An erster Stelle haben wir das ideale, bis heute aber noch nicht vorliegende Modellmaterial angeführt:

	Exp. / Kontr.	Oberfl.	Härte	Verarbeitung
Idealmaterial:	geringste Exp.	glatt	groß	einfach
Hartgipse:	geringe Exp.	rauh	gering	einfach
Modellzemente:	größte Exp.	glatt		einfach
Metallmodelle:	größte Kontr.	glatt	groß	umständlich
Kunststoffe:	größte Kontr.	glatt	groß	einfach

2. Die Modellmaterialien auf Gipsbasis

a) Allgemeines

Die von uns untersuchten Modellmaterialien DUROC und GLASTONE gehören zu den Gipsen. Zum besseren Verständnis möchten wir einen kurzen Abriß über Gips, seine Gewinnung, Herstellung und Verarbeitung vorausschicken. Unseren Ausführungen liegen besonders die Arbeiten von KÖRBER, SCHAKKE, SCHREINER, SCHWINDLING, WANNEMACHER und WIBBE zugrunde.

Calcium (Ca) gehört zu den Erdalkalimetallen. Wie jedes Metall hat es die Fähigkeit, mit Säuren Salze zu bilden, z.B. mit Schwefelsäurezusatz das Calcium-Sulfat (Ca SO_4). Das Dihydrat des Calciumsulfates ist unter dem Namen "Gips" bekannt. In großen Gipslagern kommt es meistens mit seinem Anhydrit, dem wasserfreien Calciumsulfat vor.

Der Rohgips, d.h. das wasserhaltige Calciumsulfat wird über 107°C erhitzt, wodurch Kristallwasser verlorenggeht und das Halbhydrat entsteht. Zu diesem Halbhydrat kann man auf zwei verschiedenen Wegen kommen:

- 1) Durch Brennen in offenen Kochern; es entsteht das feinflöckige β -Halbhydrat.
- 2) Durch Brennen im Autoklaven; es entsteht das grobkristalline

α -Halbhydrat.

In der Zahnheilkunde werden nun nach beiden Verfahren hergestellte Gipse verwendet.

- ad 1) Weißer Gips: Er besteht zum größten Teil aus β -Halbhydrat. Durch seine Feinkörnigkeit besitzt er eine große Oberfläche. Zum Anmengen werden für 100 g Pulver ca. 30 - 35 ccm Wasser benötigt.
- ad 2) Hartgipse bestehen ausschließlich aus α -Halbhydrat und sind dementsprechend grobkristallin. Entsprechend der Oberfläche liegt die Einstreuemenge gegenüber β -Halbhydrat bedeutend höher, d.h. daß das Wasser auf 20 - 25 ccm reduziert werden kann, wenn der Gipsbrei aus α -Halbhydrat die gleiche Konsistenz haben soll wie der aus β -Halbhydrat im Verhältnis 30 - 35 ccm Wasser : 100 g Pulver.

Das Halbhydrat hat die Fähigkeit, nach Wasserzugabe wieder in das Dihydrat überzugehen und dabei zu erhärten. Eine Beschreibung der sich dabei abspielenden sehr komplizierten chemisch-physikalischen Vorgänge würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

b) Zusammensetzung und Eigenschaften der Modellmaterialien DUROC und GLASTONE

Wie zuvor schon erwähnt wurde, gehören DUROC und GLASTONE zu den Gipsen. Nähere Angaben über die Zusammensetzung dieser beiden Hartgipse machte uns die Herstellerfirma RANSOM & RANDOLPH CO., TOLEDO, OHIO, nicht. So müssen wir uns darauf beschränken, das wiederzugeben, was wir den Prospekten entnehmen konnten. In diesen ist über DUROC folgendes zu lesen:

"Mischungsverhältnis Wasser : Pulver =	24 ccm : 100 g
Erste Erhärtungsperiode	= 8 - 10 Min.
Expansion	= 0,05 % lin.

In Fällen, wo auf allergrößte Genauigkeit und Härte Wert gelegt wird, ist DUROC der ideale Hartgips. Seine Expansion nach dem Er-

härten ist nur halb so groß wie die anderer Hartgipse, und seine Kompressionsfestigkeit ist 50 % größer. Die Oberfläche ist äußerst glatt und trotzdem widerstandsfähig gegen Abrasion oder Abblättern. Wegen dieser Vorteile ist DUROC das vollkommenste Material für Arbeitsmodelle, zur Vorbereitung von Modellgüssen, von Brückenarbeiten, für partielle Prothesen und für Zahnmodelle."

Über die Eigenschaften von GLASTONE finden wir in den Prospekten folgende Angaben:

"Mischungsverhältnis Wasser : Pulver	= 24 - 26 ccm : 100 g
Erste Erhärtungsperiode	= 7,5 - 10 Min.
Expansion	= 0,05 - 0,09 % lin.

GLASTONE wird sehr schnell hart, in 30 Minuten härter als die meisten Superhartgipse nach 24 Stunden. Genau dieselbe Oberflächenhärte, ob Sie es in Alginat, Silikon, Hydrocolloid oder viele andere elastische Abdruckmaterialien gießen. GLASTONE ist das einzige mit Wasser angemischte Material, das diese Vorteile hat. Sehr geringe Abbindeexpansion. Viele Verwendungsmöglichkeiten. Für Meistermodelle, Inlaystümpfe, feste Brückenmodelle, Schaumodelle, Studiermodelle, Orthodontiemodelle und alle Zwecke, wo ein extrahartes Modell gewünscht wird. Einfache Verarbeitung. Wird mit Wasser zu einer cremeartigen Konsistenz angerührt. Fließt leicht und bleibt gut liegen. Wirkliche Zeitersparnis. Kann nach 30 Minuten bereits entfernt werden."

II. Eigene Untersuchungen

1. Bestimmung der linearen Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe eines Meßmikroskopes

a) Versuchsanordnung

Die Bestimmung der linearen Expansion führten wir zunächst mit einem Meßmikroskop der Firma LEITZ, WETZLAR, durch, das unter der Bezeichnung "LEITZ WERKSTATTMESSMIKROSKOP WM 1" bekannt ist (Abb. 1). Wir hatten dieses Mikroskop noch durch einen mit Auflicht arbeitenden ULTROPAK ergänzt.

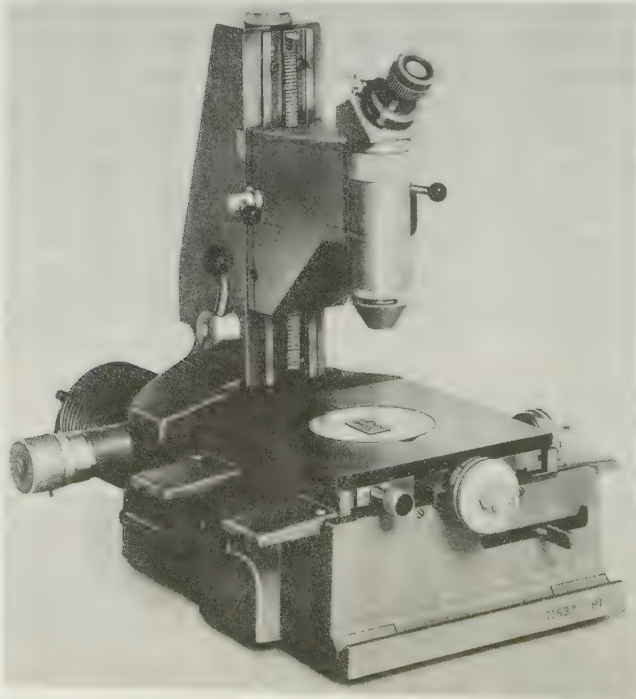


Abb. 1. LEITZ WERKSTATTMESSMIKROSKOP WM 1.

In dem Begleitschreiben zu diesem Meßmikroskop wird ausgeführt:

"Das Prinzip des meßkraftfreien optischen Prüfens eignet sich aus Gründen der Übersicht und Wirtschaftlichkeit besonders für kleine und komplizierte Meßgegenstände und für solche Werkstücke, die keine Meßkraft vertragen. Optische Meß- und Prüfmethode werden daher vor allem dort verwandt, wo Kontaktmeßverfahren mit Tastern, Lehren, Fühlern usw. versagen. Das mikroskopisch stark vergrößerte Bild eines Gegenstandes zeigt die kleinste Abweichung von Abmessung und Form gegenüber der durch eine Strichplatte gekennzeichneten Sollform. Sie bietet damit die Grundlage für ein exaktes Auswerten."

Die Hauptbestandteile dieses Mikroskopes sind Stativ, Mikroskopständer mit Beleuchtungseinrichtung und Meßtisch. Der Tubus war in unserem Falle ein einfacher Meßtubus, der für Längen und Koordinatenmessungen verwandt wird. Im Okular saß eine Strichplatte mit Strichkreuz. Der Meßtisch, der zur Aufnahme der Prüflinge dient, war in zwei senkrecht zueinander liegende Koordinaten mit Meßspindeln verstellbar. Die Meßunsicherheit der Meßspindel wird mit $\pm 2/\mu$ angegeben.

ILG, der in mehreren seiner Arbeiten Mikroskope zum Vermessen benutzte, macht über das optische Meßverfahren folgende Angaben:

"Es ist besonders wichtig bei den optischen Prüfverfahren, daß der Prüfling nicht durch Meßbacken berührt oder einem, wenn auch noch so geringen Meßdruck ausgesetzt wird. Der Prüfling wird vielmehr durch die Brennweite des optischen Systems gewissermaßen 'abgetastet'. Schließlich ist die Feststellung der zu erwartenden nur ziemlich geringfügigen Dimensionsveränderungen, geringfügig, besonders durch die Kleinheit des Meßkörpers, am ehesten durch ein hochgezüchtetes optisches Meßverfahren möglich."

Zur Prüfung der linearen Expansion konstruierten wir einen Messingkörper mit nachfolgenden Abmessungen:

Länge 50 mm

Breite 30 mm

Genau in der Mitte lief eine Vertiefung von 10 mm Breite und 1 mm Tiefe. An beiden Stirnseiten endete die Rille frei (Abb. 2). Um eine

möglichst reibungsarme Oberfläche zu erhalten, war der Versuchskörper vernickelt.

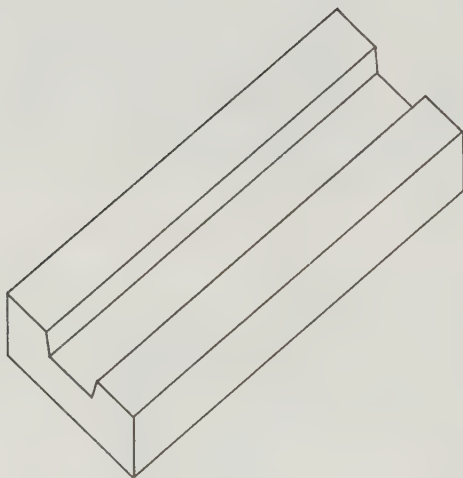


Abb. 2. Schematische Darstellung unseres Versuchskörpers, der zur Ermittlung der linearen Expansion mit Hilfe des Meßmikroskopes diente.

Die zuvor beschriebene Rille isolierten wir hauchdünns mit Silikonöl, um die Reibung auf der vernickelten Oberfläche noch weiter zu verringern. Den Körper brachten wir dann in eine Vorrichtung, die es gestattete, zwei ebenfalls dünn isolierte Objektträger an seinen beiden Stirnseiten zu fixieren. Die Objektträger bildeten mit der Rille einen Winkel von 90° . Eine Feder sorgte für ein einwandfreies Anliegen der beiden Glasplatten (Abb. 3).

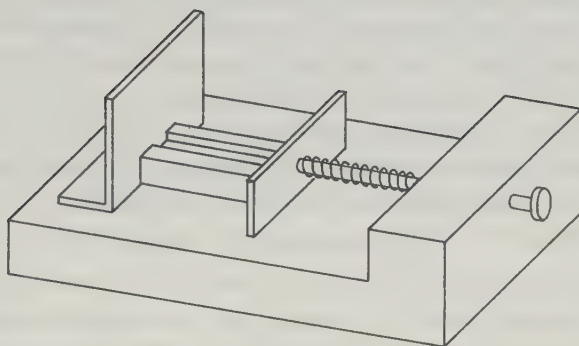


Abb. 3. Schematische Darstellung unserer Vorrichtung, die es gestattete, die Objektträger jeweils in einem Winkel von 90° zum Versuchskörper zu fixieren.

Unter gleichen Bedingungen wurde jedesmal der Gipsbrei angerührt, d.h. Aqua dest. von Raumtemperatur spachtelten wir mit der jeweiligen Gipsmenge eine Minute lang kräftig durch. In der folgenden Minute füllten wir den Gipsbrei in die Form und glätteten ihn.

Besonders wichtig war, daß konstante Bedingungen eingehalten wurden. Diese Forderung möchten wir kurz erläutern, d.h. etwas über die Auswirkung der Verarbeitungsweise auf den Gips sagen. Bei allen Versuchen muß eine konstante Temperatur von Raum und Aqua dest. gefordert werden, da sowohl Wasser- wie Raumtemperatur den Abbindevorgang des Gipses umso mehr beschleunigen je größer sie sind (KÖRBER, PORT, SCHÖNBECK).

RE beschreibt einen Unterschied im Abbindevorgang des Gipses bei Aqua dest. und Leitungswasser; er führt ihn darauf zurück, daß im Leitungswasser verschiedene Kalksalze gelöst sind. Ebenso beeinflussen Intensität und Dauer des Anrührens nach GYSI das Hartwerden und die Expansion. Die gleichen Aussagen machen PARREIDT, PROTHERO, SIMMS und WIBBE.

Alle vorgenannten Autoren stimmen ferner darin überein, daß Zusätze wie NaCl, Borax, Dextrin usw. die Eigenschaften des Gipses beeinflussen. Aus diesen Gründen sahen wir bei unseren Versuchsreihen nicht nur davon ab, solche Stoffe beizumischen, sondern wir erfüllten auch die Forderung nach konstanten Bedingungen.

Schwierig zu entscheiden war die Frage, wann sollten wir in unserer Versuchsanordnung die Federspannung lösen und die beiden Objektträger entfernen? Anders ausgedrückt: Wann hörte das Fließen des Gipses auf, und wann begann die eigentliche Expansion des Gipses?

Wir mußten also jeweils zunächst den Zeitpunkt bestimmen, an dem der Versteifungsbeginn einsetzte. Bei diesen Vorversuchen richteten wir uns nach den vom Arbeitsausschuß "Gips" vom März 1955 in Deutsche Normen Din 1168 Blatt 2 festgelegten Richtlinien:

"Der Versteifungsbeginn ist der Zeitpunkt, an dem die Ränder eines durch den Gipsbrei geführten Messerschnittes nicht mehr zusammenfließen. Für die Prüfschnitte wird ein spitzes Messer mit etwa 10 mm Schneidenlänge, bis etwa 16 mm Breite und 1 - 1,5 mm Rückenbreite benutzt. (Verwendbar z.B. Messer 3599/3 1/2 der ZWILLINGSWERKE SOLINGEN.)

Den Gipsbrei läßt man 15 Sekunden durchweichen und rührt ihn dann während einer Minute mit dem Löffel langsam durch. Etwaige Knollen sind mit dem Löffelrücken an der Gefäßwand zu zerdrücken. Dann wird der Gipsbrei unter ständigem Rühren auf ebene glatte Glasplatten ausgegossen, so daß drei Kuchen von 10 - 12 cm Durchmesser und etwa 5 mm Dicke entstehen. Die Annäherung an den Versteifungsbeginn wird durch Probeschnitte am ersten und am dritten Kuchen ermittelt. Die Prüfschnitte werden am zweiten Kuchen durchgeführt. Der Versteifungsbeginn ist erreicht, wenn die Schnittränder - auch am Kuchenrand - nicht mehr zusammenfließen. Das Messer ist nach jedem Schnitt zu reinigen und zu trocknen.

Versteifungsbeginn und Versteifungsende werden als Mittel aus mindestens zwei Versuchen in ganzen Minuten angegeben."

Ferner weist der Arbeitsausschuß darauf hin, daß "bei allen Prüfungen, zu denen Wasser gebraucht wird, destilliertes Wasser zu verwen-

den ist. Zum Abmessen der Wassermenge sind nur geeichte Gefäße zu verwenden. Die Temperatur des Wassers, des Gipses, der Prüfgeräte und der Raumluft soll $18 - 20^{\circ} \text{C}$ betragen. Die Geräte zum Anmachen des Gipsbreies sollen dunkel glassiert oder emalliert sein. Sie sind nach dem Gebrauch gründlich zu reinigen, da bereits Spuren des erhärteten Gipses das Versteifen des frischen Gipses beschleunigen. Zur Ermittlung des Versteifungsbeginns werden 100 ccm Wasser und die dem Mischungsverhältnis entsprechende Menge Pulver verwandt."

Unsere Vorversuche ergaben folgende Ergebnisse:

(In der Tabelle haben wir das von der Herstellerfirma angegebene Wasser-Pulver-Mischungsverhältnis (W:P) stets zuerst genannt. Es folgen dann noch zwei Mischungsverhältnisse, die in der Praxis ohne Abwiegen und Abmessen einen als brauchbar zu bezeichnenden Gipsbrei ergeben würden.)

Tabelle 1

Versteifungsbeginn für DUROC

Mischung W:P	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittelwert ⁺⁾
24:100	4 Min.	4 Min.	4 Min.	4 Min.
20:100	3 Min.	2 Min.	3 Min.	3 Min.
28:100	5 Min.	6 Min.	6 Min.	6 Min.

+) Der Mittelwert ist laut Richtlinien des Arbeitsausschusses "Gips" in ganzen Minuten anzugeben.

Tabelle 2

Versteifungsbeginn für GLASTONE

Mischung W:P	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittelwert ⁺⁾
25:100	4 Min.	4 Min.	4 Min.	4 Min.
20:100	3 Min.	3 Min.	3 Min.	3 Min.
30:100	6 Min.	5 Min.	6 Min.	6 Min.

+) Der Mittelwert ist laut Richtlinien des Arbeitsausschusses "Gips" in ganzen Minuten anzugeben.

Die gefundenen Ergebnisse lagen höher als die bei den praktischen Arbeiten im Laboratorium ermittelten. Dieser Unterschied läßt sich nur so erklären, daß wir in der Praxis bedeutend kleinere Mengen Gips anrühren als in den obigen Versuchen.

Die gefundenen Werte besitzen deshalb nur Bedeutung für die Versuche zur Bestimmung der linearen Expansion mit dem Quellungsmeßgerät, da dort ebenfalls mit größeren Mengen an Gips und Wasser gearbeitet wurde.

Bei der Ermittlung der Expansion mit Hilfe des LEITZ WERKSTATTMESSMIKROSKOPES haben wir das Volumen des Gipsbreies mit Absicht aber so klein gehalten, daß es ungefähr der zum Ausgießen von Abdrücken verwandten Menge entsprach. Für diese Versuchsreihe mußten wir deshalb den Versteifungsbeginn nochmals bestimmen. In diesen Versuchen verwendeten wir im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Untersuchungen nur 2 ccm Wasser und fügten dazu die den Verhältnissen 24:100 bzw. 25:100, 20:100, 28:100 bzw. 30:100 entsprechende Menge Gips. Das Mischungsverhältnis wurde dadurch nicht geändert. Aus den Tabellen ist eindeutig zu ersehen, daß der Versteifungsbeginn bei diesen kleineren Mengen früher einsetzt als bei den Versuchen mit 100 ccm Wasser.

Tabelle 3

Versteifungsbeginn für DUROC.

Mischung W:P	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittelwert ⁺⁾
24:100	3 Min.	3 Min.	3 Min.	3 Min.
20:100	2 Min.	2 Min.	3 Min.	2 Min.
28:100	4 Min.	4 Min.	4 Min.	4 Min.

Tabelle 4

Versteifungsbeginn für GLASTONE

Mischung W:P	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	Mittelwert ⁺⁾
25:100	3 Min.	3 Min.	3 Min.	3 Min.
20:100	2 Min.	3 Min.	3 Min.	3 Min.
30:100	4 Min.	4 Min.	4 Min.	4 Min.

+) Der Mittelwert ist laut Richtlinien des Arbeitsausschusses "Gips" in ganzen Minuten anzugeben.

Durch diese Vorversuche erhielten wir für die verschiedenen Mischungsverhältnisse den Zeitpunkt, an dem wir die Federspannung lösen und ohne Schwierigkeit die beiden Objektträger sauber entfernen konnten.

Um einen eventuellen Rütteleffekt beim Transport unter das Mikroskop zu vermeiden, wurden die ersten Messungen jeweils nach 10 Minuten durchgeführt.

Vor unseren eigentlichen Untersuchungen haben wir anhand von Leerver-
suchen außerdem die Meßgenauigkeit des Mikroskopes für unsere zu un-
tersuchenden Materialien bestimmt.

Dazu wurde eine Kante eines vernickelten Metallkörpers zehnmal einge-
stellt. In der Tabelle 5 sind die einzelnen Abweichungen zusammenge-
stellt. Diese Abweichungen sind bedingt durch die Meßunsicherheit der
Meßspindel ($\pm 2\mu$) und durch die Unsicherheit beim Einstellen einer
Kante, die sich in dieser Vergrößerung als leichte Rundung zeigt. Das
arithmetische Mittel gibt uns die für unsere Versuche geltende Meßun-
sicherheit an.

Tabelle 5

Meßunsicherheit bei Einstellung einer Metallkante

Versuch	Abweichung vom Nullpunkt in Mikron
1	- 1
2	- 1
3	0
4	0
5	+ 1
6	0
7	- 2
8	+ 1
9	+ 1
10	0

Da sich aller Voraussicht nach die Meßunsicherheit bei Gips, bedingt
durch die raue Oberfläche desselben, noch erhöhen würde, begnügten
wir uns nicht mit der Ermittlung der Meßunsicherheit bei einer Me-
tallkante, sondern führten außerdem noch zehn Leerversuche bei einer
Gipskante durch, die in der Tabelle 6 zusammengestellt sind.

Tabelle 6

Meßunsicherheit bei Einstellung einer Gipskante

Versuch	Abweichung vom Nullpunkt in Mikron
1	- 3
2	- 3
3	0
4	+ 2
5	0
6	- 2
7	+ 2
8	+ 3
9	0
10	+ 1

Wie aus den Tabellen zu ersehen ist, muß bei Einstellung auf eine Metallkante mit einer Meßunsicherheit von $\pm 2 \mu$ gerechnet werden. Bei Einstellung auf eine Gipskante muß eine Meßunsicherheit von $\pm 3 \mu$ angenommen werden. Es ist zu berücksichtigen, daß es sich bei diesen angegebenen Werten jeweils um die ermittelten Höchstwerte handelt.

b) Untersuchungsergebnisse

aa) DUROC und GLASTONE im vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis

Aus den nun folgenden Tabellen (7 - 10) und Diagrammen (1 - 2) sind die Dimensionsänderungen von DUROC und GLASTONE im vom Hersteller angegebenen Wasser-Pulver-Verhältnis zu ersehen.

Die erste Ablesung, die aus den zuvor beschriebenen Gründen

nach zehn Minuten erfolgte, machten wir jeweils dreimal und nahmen dann den Mittelwert, um die Fehlerquellen durch das Ablesen der ersten Einstellung weitgehendst auszuschalten, da die Meßunsicherheit beim Einstellen einer Gipskante - wie unsere zuvor beschriebenen Versuche ergaben - bis zu $\pm 3/\mu$ schwankte. Der Mittelwert dieser drei Ablesungen ist in der Tabelle unter der Spalte 10' zu finden.

Tabelle 7

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 24:100

Versteifungsbeginn nach 3 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	34	39	42	42	44	44	46
2	27	32	33	35	35	35	36
3	29	33	36	36	36	37	37
4	21	27	29	29	30	30	31
5	24	29	30	--	--	--	31
Mittelwert	27	32	34	35	36	36	36

Tabelle 8

Expansion von DUROC in % lin. (Umrechnung der Tabelle 7)

nach 10 Minuten	0,054 %	nach 2 Stunden	0,072 %
" 20 "	0,064 %	" 4 "	0,072 %
" 30 "	0,068 %	" 24 "	0,072 %
" 60 "	0,070 %		

Tabelle 9

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 25:100

Versteifungsbeginn nach 3 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	42	48	49	50	50	50	51
2	44	49	51	52	52	52	53
3	42	47	48	48	50	50	50
4	38	43	45	45	46	47	47
5	48	54	54	55	56	56	57
Mittelwert	43	48	49	49	50	51	51

Tabelle 10

Expansion von GLASTONE in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 9)

nach 10 Minuten	0,086 %
" 20 "	0,096 %
" 30 "	0,098 %
" 60 "	0,098 %
" 2 Stunden	0,100 %
" 4 "	0,102 %
" 24 "	0,102 %

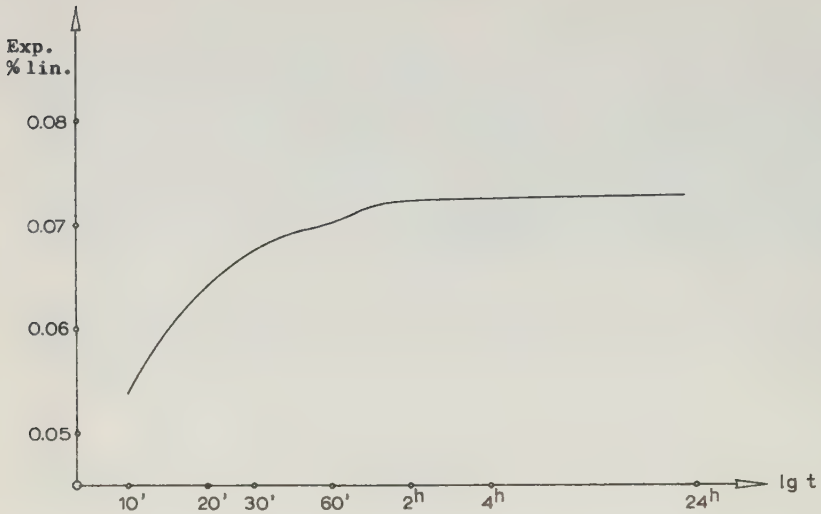


Diagramm 1. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. beim Mischungsverhältnis 24:100.

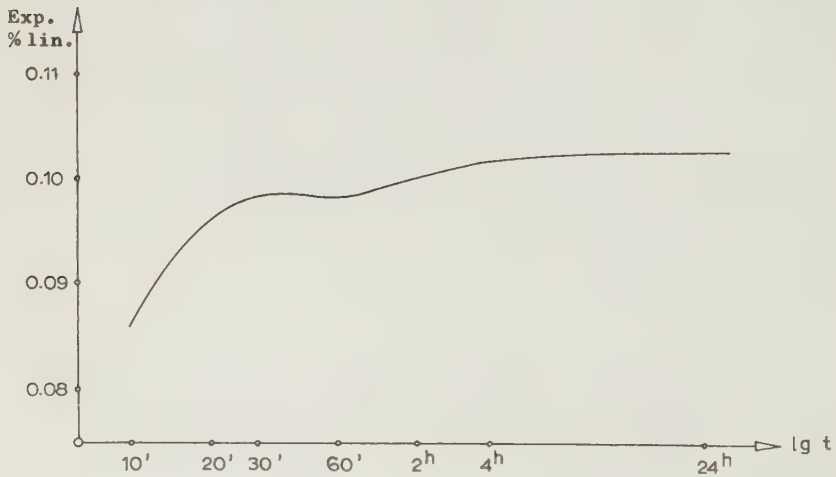


Diagramm 2. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. beim Mischungsverhältnis 25:100 .

Wie aus den Tabellen (7 - 10) und den Diagrammen (1 - 2) zu entnehmen ist, hat nach 20 Minuten, d.h. schon bei den ersten Ableasuren der größte Teil der Expansion bereits stattgefunden. Es darf uns nicht verwundern, denn schon PROTHERO weist darauf hin, daß beim Abbinden des Gipses die größte Expansion innerhalb der ersten 20 Minuten stattfindet. Ebenso sieht man in der Arbeit von SCHREINER, daß in den ersten Minuten die größte Expansion stattfindet.

GYSI erklärt die große Expansion zu Anfang des Abbindeprozesses bei Gips allgemein mit der Hydratation, d.h. durch die Aufnahme von Kristallwasser und durch die entstehende Hydrationswärme. Nach seinen Beobachtungen erfolgt dann bis zur 30. Minute eine geringe Expansion, die noch einmal von einer größeren abgelöst wird. Danach pendelt sich die Kurve in eine Gerade, parallel zur Abszisse ein.

bb) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Bei den zuvor beschriebenen Versuchsreihen hatten wir das vom Hersteller angegebene Wasser-Pulver-Verhältnis eingehalten. Die folgenden Versuche sollen zeigen, wie sich eine Verminderung des Wassers, d.h. eine Vermehrung des Pulvers auswirkt. Die gefundenen Resultate sind in den Tabellen 11 - 14 und den Diagrammen 3 - 4 zusammengestellt:

Tabelle 11

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Versteifungsbeginn nach 2 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	30	31	31	31	31	31	32
2	29	33	34	35	36	38	38
3	28	30	30	30	33	35	35
4	31	34	35	35	37	38	38
5	30	38	40	40	41	42	42
Mittelwert	29	33	34	34	36	37	37

Tabelle 12

Expansion von DUROC in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 11)

nach 10 Minuten	0,058 %
" 20 "	0,066 %
" 30 "	0,068 %
" 60 "	0,068 %
" 2 Stunden	0,072 %
" 4 "	0,074 %
" 24 "	0,074 %

Tabelle 13

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Versteifungsbeginn nach 3 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	46	46	46	49	49	50	51
2	46	48	49	52	52	52	53
3	43	50	52	53	54	55	56
4	50	53	54	57	57	59	61
5	47	49	49	53	53	54	55
Mittelwert	46	49	50	53	53	54	55

Tabelle 14

Expansion von GLASTONE in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 13)

nach 10 Minuten	0,092 %
" 20 "	0,098 %
" 30 "	0,100 %
" 60 "	0,106 %
" 2 Stunden	0,106 %
" 4 "	0,108 %
" 24 "	0,110 %

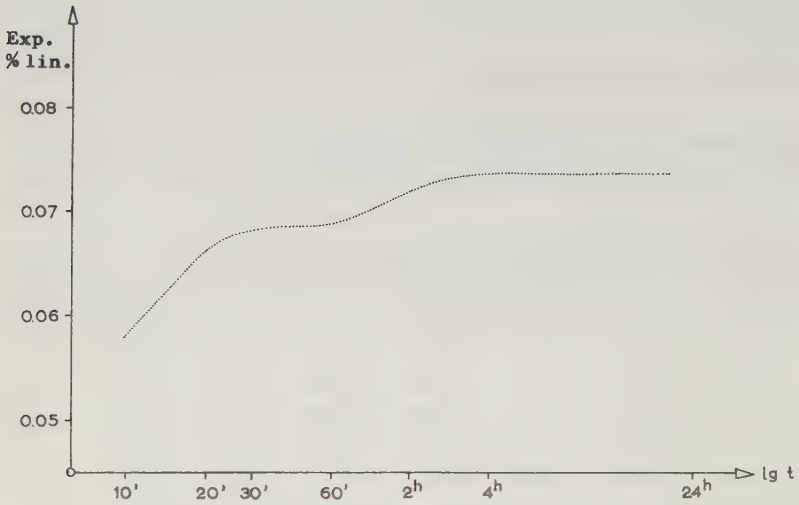


Diagramm 3. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. beim Mischungsverhältnis 20:100.

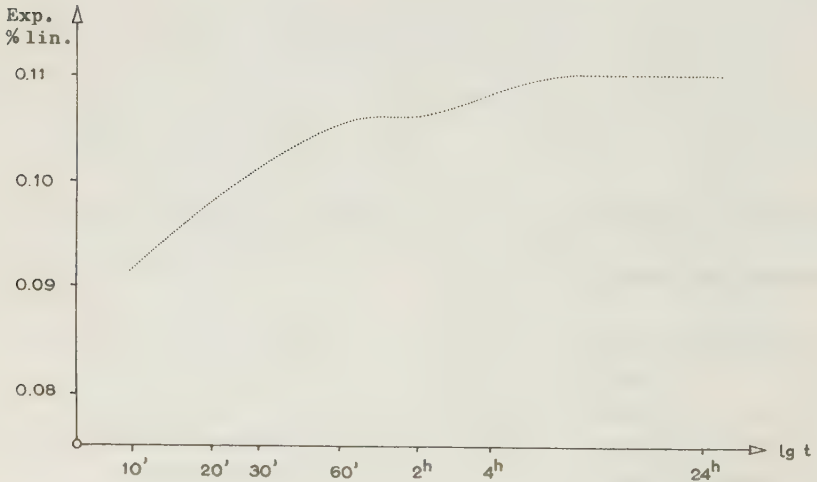


Diagramm 4. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. beim Mischungsverhältnis 20:100.

cc) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 28:100
bzw. 30:100

Hatten wir im letzten Kapitel die Pulvermenge vermehrt, so wollen wir in diesem Kapitel betrachten, wie sich eine Verminderung der Pulvermenge auf die Expansion auswirkt.

In den Tabellen 15 - 18 und den Diagrammen 5 - 6 sind die Ergebnisse zusammengestellt:

Tabelle 15

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 28:100

Versteifungsbeginn nach 4 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	29	33	36	37	37	38	38
2	30	33	37	41	41	41	41
3	24	27	29	30	31	33	33
4	27	32	36	37	37	38	39
5	25	29	31	35	36	38	38
Mittelwert	27	34	34	36	36	37	37

Tabelle 16

Expansion von DUROC in % lin. (Umrechnung der Tabelle 15)

nach 10 Minuten	0,054 %	nach 2 Stunden	0,072 %
" 20 "	0,068 %	" 4 "	0,074 %
" 30 "	0,068 %	" 24 "	0,074 %
" 60 "	0,072 %		

Tabelle 17

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 30:100

Versteifungsbeginn nach 4 Minuten

Versuch	10'	20'	30'	60'	2 ^h	4 ^h	24 ^h
1	48	55	55	57	57	58	58
2	40	45	45	46	48	49	49
3	50	53	53	53	54	55	55
4	36	41	41	42	42	43	43
5	51	56	56	56	56	60	64
Mittelwert	45	50	50	51	52	53	54

Tabelle 18

Expansion von GLASTONE in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 17)

nach 10 Minuten	0,090 %
" 20 "	0,100 %
" 30 "	0,100 %
" 60 "	0,102 %
" 2 Stunden	0,104 %
" 4 "	0,106 %
" 24 "	0,108 %

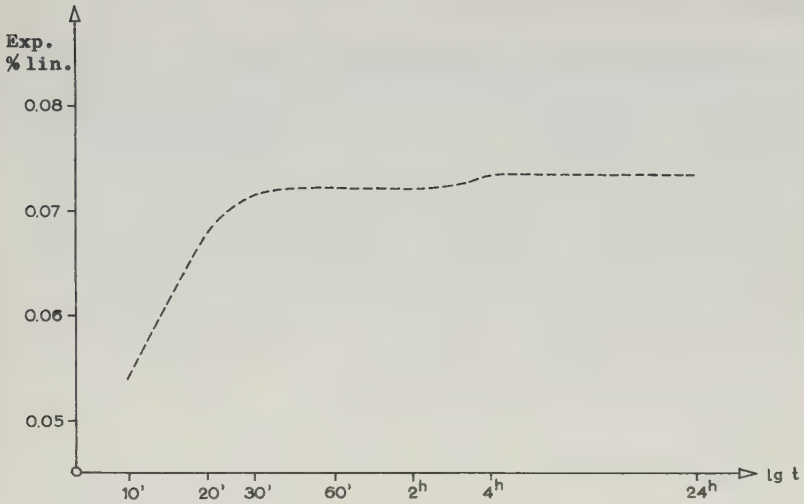


Diagramm 5. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. beim Mischungsverhältnis 28:100.

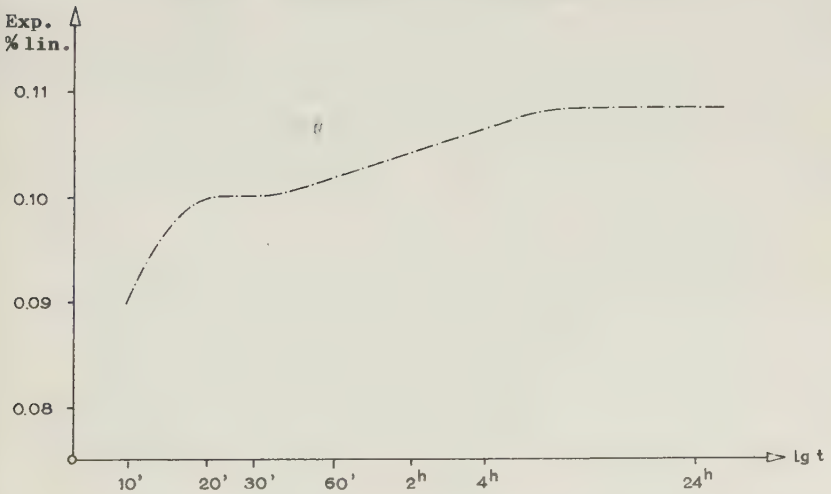


Diagramm 6. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. beim Mischungsverhältnis 30:100.

dd) Zusammenfassung der Ergebnisse

H. LEHMANN und H. KREUTER weisen darauf hin, daß die Einstreumenge des Pulvers die Expansion des Gipses so beeinflußt, daß jedes Abweichen von dem günstigsten Wasser-Pulver-Verhältnis eine größere Quellung bewirkt.

Vergleichen wir unsere DUROC- und GLASTONE-Tabellen bzw. -Diagramme daraufhin, so finden wir, daß die Herstellerfirma das günstigste Wasser-Pulver-Verhältnis angegeben hat und daß jede Änderung desselben die Expansion erhöht. Zur besseren Übersicht haben wir die Diagramme 1, 3, 5 und 2, 4, 6, die wir bei den verschiedenen Mischungsverhältnissen ermittelten, jeweils in einem Diagramm (Diagramm 7 und 8) zusammengefaßt.

Im Diagramm 7 stellt die durchgezogene Kurve (Kurve a) die Expansion von DUROC in dem von der Herstellerfirma angegebenen Wasser-Pulver-Verhältnis 24:100 dar. Nach zwei Stunden ist die Endexpansion mit 0,072 % lin. erreicht. Die Kontrolle nach 24 Stunden bestätigt dies. Die für die Mischungsverhältnisse 20:100 bzw. 28:100 ermittelten Resultate enden gemeinsam in einer Endexpansion von 0,074 % lin. (Kurven b und c), d.h. eine Änderung der Einstreumenge bewirkt die geringe Zunahme der Expansion von 0,002 % lin. Dieses Ergebnis stimmt mit unseren praktischen Erfahrungen überein, daß man ohne besondere Beachtung des Mischungsverhältnisses DUROC-Modelle herstellen kann, die den gewünschten Anforderungen entsprechen.

Im Diagramm 8 sind die Werte der Expansion veranschaulicht, die wir von GLASTONE bei verschiedenen Wasser-Pulver-Verhältnissen ermittelten. Die durchgezogene Kurve (Kurve a) zeigt die Expansion von GLASTONE in dem von der Herstellerfirma angegebenen Mischungsverhältnis 25:100. Die Endexpansion beträgt 0,102 % lin. Durch Änderung der Einstreumenge hat sich bei DUROC die Expansion nur geringgradig erhöht. Bei GLASTONE bewirkt eine Vermehrung des Pulvers eine Zunahme der Expansion um 0,008 % lin. auf 0,110 % lin. Eine Verminderung des Pulvers bringt ebenfalls eine, jedoch geringere Steigerung der Expansion, nämlich um 0,006 % lin. auf

0,108 % lin.

Ein Vergleich der DUROC- und GLASTONE-Tabellen bzw. -Diagramme untereinander ergibt, daß die Expansion von DUROC bei allen Mischungsverhältnissen erheblich kleiner ist als die von GLASTONE. Werden die beiden Hartgipse genau in dem von der Herstellerfirma angegebenen Verhältnis angerührt, so hat GLASTONE eine um 0,026 % lin. größere Endexpansion als DUROC. Noch ungünstigere Werte ergeben sich für GLASTONE, wenn nicht jeweils das geforderte Wasser-Pulver-Verhältnis eingehalten wird. Wie unsere Tabellen und Diagramme zeigen, expandiert dann GLASTONE um 0,034 % lin. bzw. 0,036 % lin. mehr als DUROC.

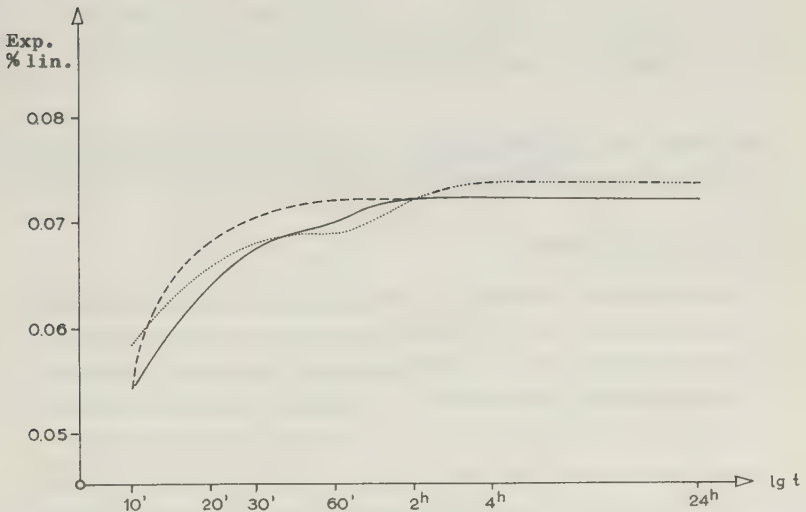


Diagramm 7. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. bei verschiedenen Mischungsverhältnissen.

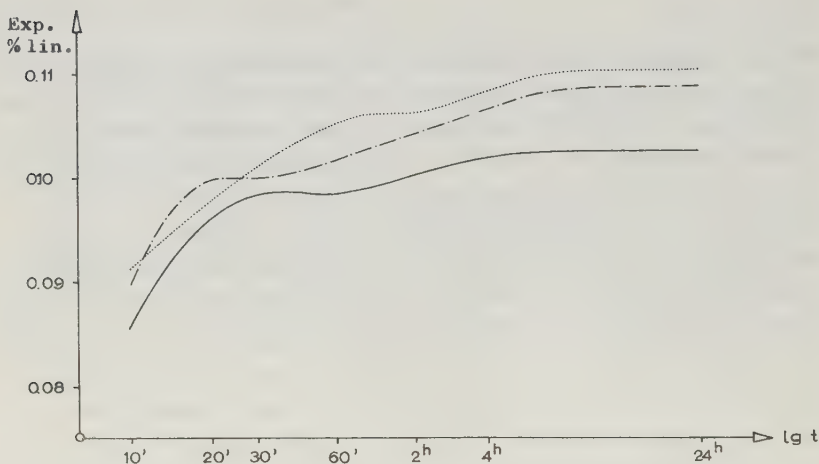


Diagramm 8. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. bei verschiedenen Mischungsverhältnissen.

2. Bestimmung der linearen Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe des Quellungsmeßgerätes nach H. LEHMANN

a) Versuchsanordnung

Unsere Untersuchungen über die lineare Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe der zuvor beschriebenen Versuchsanordnung haben wir mittels des Quellungsmeßgerätes nach H. LEHMANN ergänzt. Dieses Gerät wurde speziell dazu entwickelt, die beim Erhärten von Gipsen auftretende Ausdehnung zu bestimmen.

An dieser Stelle möchten wir Herrn Prof. Dr. Ing. H. LEHMANN, dem Direktor des Institutes für Steine und Erden der Bergakademie Clausthal unseren Dank aussprechen für die freundliche Unterstützung.

Über das von uns verwandte und in Abb. 4 gezeigte Meßgerät

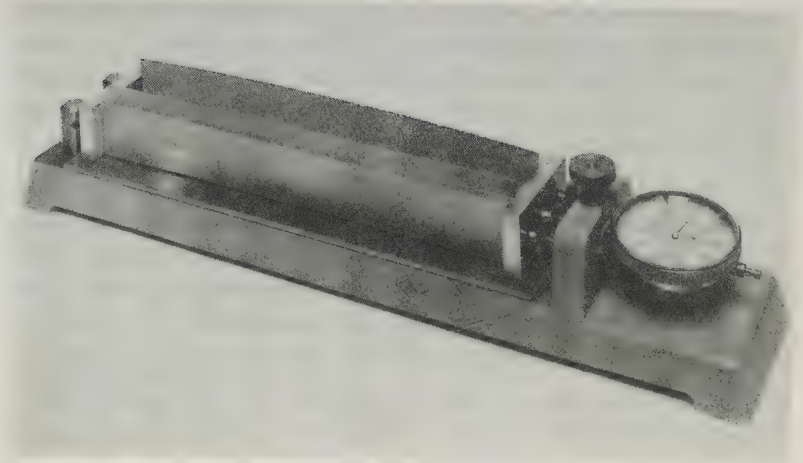


Abb. 4. Darstellung des von uns verwendeten Quellungsmeßgerätes nach H. LEHMANN.

macht die Herstellerfirma nachfolgende Angaben:

"Das Meßgerät umfaßt:

- 1) Eine eiserne Unterplatte, die an der einen Stirnseite die beiden Festpunkte für die den Gipsbrei aufnehmende Form und auf der anderen Seite einen Quersteg trägt. In diesem Quersteg ist mittig die Meßuhr eingelagert; außerdem befinden sich in dem Quersteg zwei Rändelschrauben, die bei der Vorbereitung des Versuches zum Zusammenhalten der Form dienen.
- 2) Die zur Aufnahme des Gipsbreies dienende vierteilige Aluminiumform, die unter Zwischenfügen einer Spiegelglasplatte auf der gußeisernen Unterplatte Aufnahme findet und in die eine Schaumgummiplatte eingelegt wird.

Die Formteile sind mit Öl leicht einzufetten, um eine gute Beweglich-

keit der Formteile untereinander und auf der Glasplatte während des Quellvorgangs zu gewährleisten. Der durch die Schaumgummiplatte gebildete Wannenquerschnitt ist für den Meßvorgang ohne Belang. Wesentlich für die Messung der auftretenden Quellung ist dagegen die durch die Innenkante der Aluminiumform gegebene Länge, die mit 333,3 mm bemessen ist."

Die etwas eigenartig anmutende Länge des Gerätes läßt sich einfach erklären. Multiplizieren wir die auf der Meßuhr abgelesenen Längenänderungen mit 3, so haben wir die Expansion des Gipses in Millimeter pro Meter. So entspricht dann der Expansion von 1,0 mm eine Expansion von 0,1 % lin. Die Ablesegenauigkeit des Gerätes wird mit 0,01 mm angegeben; schätzbar sind Werte bis zu 0,001 mm.

Bei der Durchführung der Versuche hielten wir uns wieder an die konstanten Bedingungen, die wir schon bei der Ermittlung der Expansion mit Hilfe des Werkstattmeßmikroskopes zugrunde gelegt hatten. Die errechnete Gipsmenge wurde innerhalb einer Minute in das destillierte Wasser eingestreut und eine Minute lang gerührt. Mit dem Einfüllen des Gipsbreies in das Meßgerät begann die Zeitnahme.

In Vorversuchen hatten wir ja schon für die verschiedenen Wasser-Pulver-Verhältnisse den Zeitpunkt bestimmt, an dem das Fließen des Gipsbreies aufhört. An diesem Zeitpunkt wurden die Rändelschrauben, die die Form zusammenhielten, jeweils in den Quersteg zurückgeschraubt, so daß nunmehr die freie Expansion beginnen konnte.

b) Untersuchungsergebnisse

aa) DUROC und GLASTONE in dem vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis

Mit DUROC und GLASTONE führten wir zunächst drei Versuche durch, bei denen das Wasser-Pulver-Verhältnis nach Herstellervorschrift gewählt wurde. Jeweils zwei Versuche beendeten wir nach einer Stunde, den dritten Versuch nach drei Stunden. Wir verzichteten darauf, die Versuchsreihen länger fortzuführen, da die Expansion nach diesem Zeitpunkt als beendet anzusehen war.

Tabelle 19

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 24:100

Versteifungsbeginn nach 4 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron		
	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
0	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	1	0	0
8	1	0	2
9	2	3	2
10	6	23	4
11	42	56	48
12	74	89	76
13	105	121	100
14	138	149	131
15	162	174	160
16	186	195	189
17	205	213	209
18	222	226	222
19	238	239	241
20	252	250	253
21	266	261	268
22	278	269	280
23	286	276	286
24	294	281	290
25	300	285	295
26	301	289	287
27	301	291	292
28	301	293	293
29	301	295	294
30	301	295	296
31	300	295	296
32	300	294	296
33	300	290	295
34	298	287	294
35	298	287	293
40	291	286	293
50	290	296	293
60	289	296	292
120	290		
180	290		

Tabelle 20

Expansion von DUROC in % lin. (Umrechnung der Tabelle 19)

		Expansion in % lin.		
		1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
nach	10 Minuten	0,002	0,007	0,001
"	20 "	0,075	0,075	0,075
"	30 "	0,090	0,088	0,088
"	60 "	0,087	0,088	0,088
"	120 "	0,087		
"	180 "	0,087		

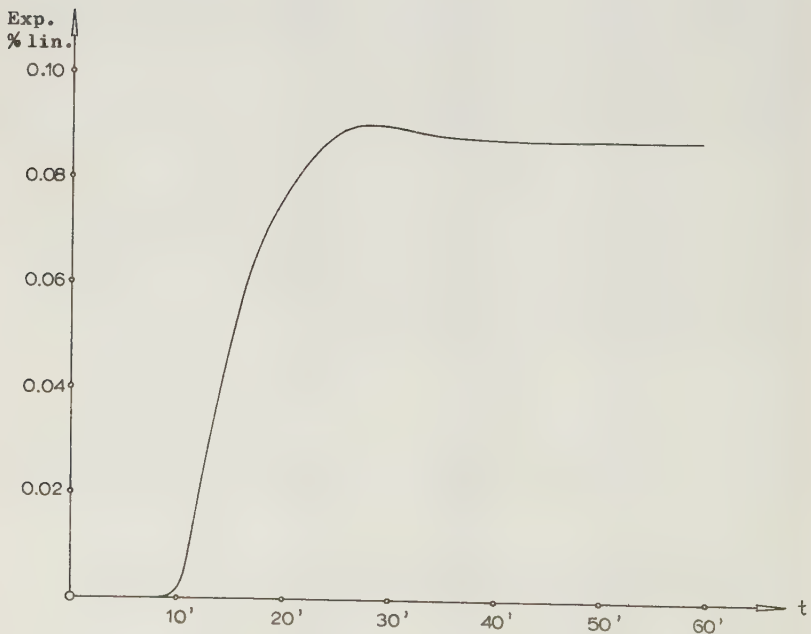


Diagramm 9. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. beim Mischungsverhältnis 24:100 (1. Versuch).

Tabelle 21

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 25:100

Versteifungsbeginn nach 4 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron		
	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
0	0	0	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	1	1	2
8	1	1	2
9	2	3	6
10	2	5	19
11	10	9	37
12	20	17	60
13	32	30	82
14	60	57	113
15	73	70	148
16	97	88	169
17	125	113	214
18	156	140	252
19	185	167	280
20	216	191	311
21	252	233	334
22	288	259	354
23	317	284	368
24	345	311	380
25	361	355	397
26	367	361	402
27	400	364	406
28	403	366	408
29	405	367	412
30	406	367	414
31	407	367	415
32	407	367	416
33	409	367	416
34	409	367	417
35	410	366	417
40	408	366	416
50	405	364	414
60	400	364	413
120	402		
180	402		

Tabelle 22

Expansion von GLASTONE in % lin. (Umrechnung der Tabelle 21)

		Expansion in % lin.		
		1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
nach	10 Minuten	0,001	0,002	0,006
"	20 "	0,065	0,057	0,093
"	30 "	0,121	0,109	0,124
"	60 "	0,120	0,109	0,124
"	120 "	0,120		
"	180 "	0,120		

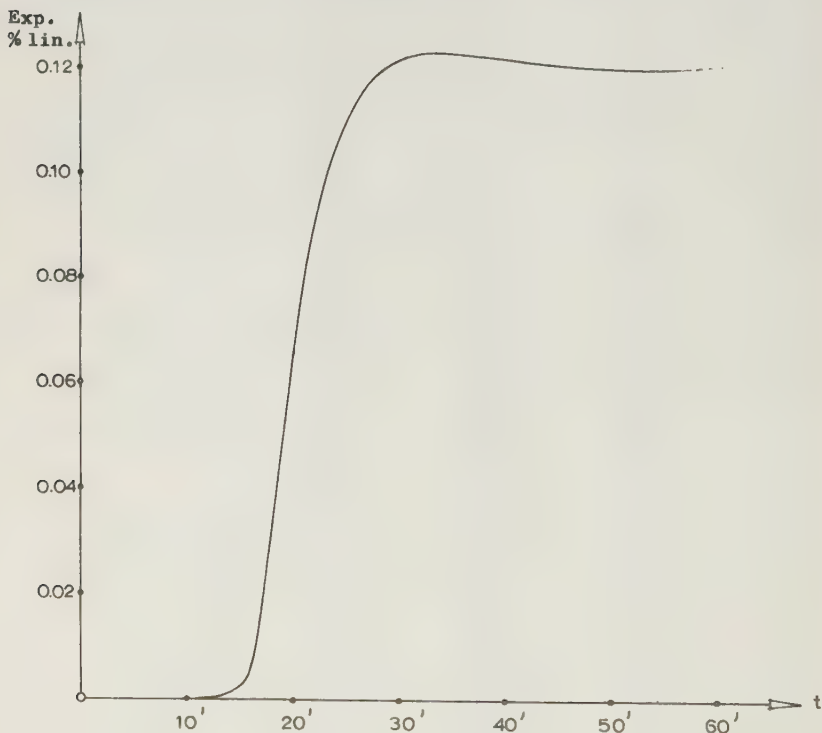


Diagramm 10. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. beim Mischungsverhältnis 25:100 (1. Versuch).

bb) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Bei der Ermittlung der Expansion von DUROC und GLASTONE mit Hilfe des LEITZ WERKSTATTMESSEMIKROSKOPES hatten wir in einer Versuchsreihe die Wassermenge vermindert, d.h. die Pulvermenge vermehrt um festzustellen, inwieweit sich das auf die Expansion auswirken würde.

Dasselbe haben wir nun bei unseren Untersuchungen mit dem Quellungsmeßgerät nach H. LEHMANN getan. Die Ergebnisse sind aus den Tabellen 23 - 26 und den Diagrammen 11 - 12 ersichtlich:

Tabelle 23

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Versteifungsbeginn nach 3 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron	Minuten	Expansion in Mikron
0	0	22	272
5	0	23	274
6	2	24	281
7	4	25	284
8	28	26	286
9	56	27	289
10	92	28	290
11	124	29	290
12	150	30	290
13	172	31	290
14	194	32	288
15	216	33	288
16	223	34	286
17	240	35	285
18	247	40	285
19	257	50	286
20	264	60	287
21	268		

Tabelle 25

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 20:100

Versteifungsbeginn nach 3 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron	Minuten	Expansion in Mikron	Minuten	Expansion in Mikron
0	0	16	249	28	412
5	0	17	286	29	411
6	2	18	317	30	410
7	11	19	342	31	408
8	23	20	362	32	406
9	42	21	370	33	405
10	97	22	379	34	402
11	122	23	385	35	400
12	139	24	407	40	398
13	153	25	410	50	400
14	181	26	411	60	401
15	216	27	412		

Tabelle 24

Expansion von DUROC in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 23)

Tabelle 26

Expansion von GLASTONE in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 25)

	Exp. in % lin.
nach 10 Minuten	0,028
" 20 "	0,079
" 30 "	0,087
" 60 "	0,088

	Exp. in % lin.
nach 10 Minuten	0,029
" 20 "	0,099
" 30 "	0,123
" 60 "	0,121

cc) DUROC und GLASTONE im Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 28:100
bzw. 30:100

In den Tabellen 27 - 30 und den Diagrammen 11 - 12 sind die Ergebnisse zusammengestellt, die sich ergaben, als wir die Expansion der beiden Modellmaterialien bei einer Vermehrung der Wassermenge betrachteten:

Tabelle 27

Expansion von DUROC in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 28:100
Versteifungsbeginn nach 6 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron	Minuten	Expansion in Mikron
0	0	22	222
5	0	23	240
6	0	24	266
7	0	25	278
8	0	26	284
9	0	27	290
10	0	28	294
11	1	29	296
12	1	30	296
13	2	31	296
14	18	32	296
15	39	33	297
16	69	34	297
17	100	35	298
18	135	40	298
19	162	50	298
20	184	60	298
21	202		

Tabelle 28

Expansion von DUROC in % lin.

(Umrechnung der Tabelle 27)

	Exp. in % lin.
nach 10 Minuten	0,000
" 20 "	0,055
" 30 "	0,088
" 60 "	0,090

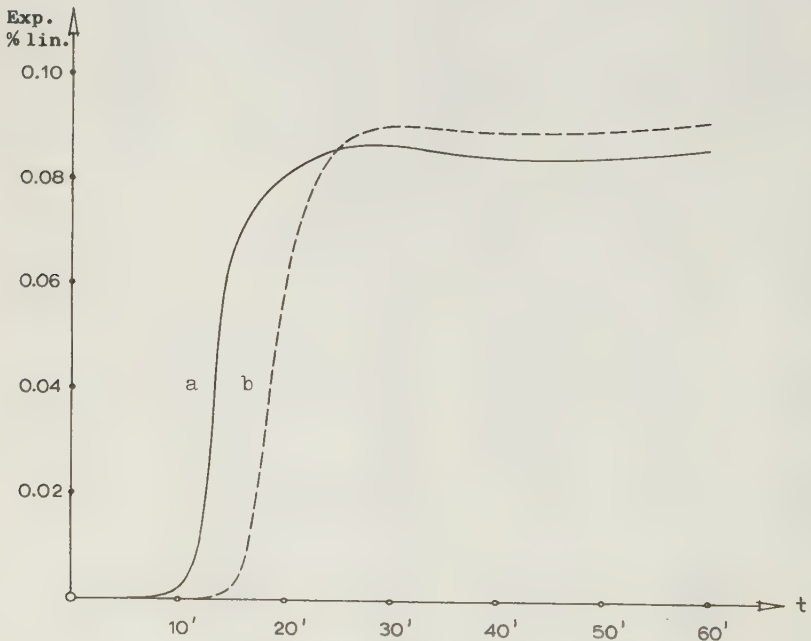


Diagramm 11. Darstellung der Expansion von DUROC in % lin. beim Mischungsverhältnis 20:100 (Kurve a) und beim Mischungsverhältnis 28:100 (Kurve b).

Tabelle 29

Expansion von GLASTONE in Mikron

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 30:100

Versteifungsbeginn nach 6 Minuten

Minuten	Expansion in Mikron	Minuten	Expansion in Mikron
0	0	22	264
5	0	23	298
6	0	24	334
7	0	25	354
8	1	26	368
9	1	27	380
10	3	28	397
11	7	29	402
12	11	30	408
13	19	31	411
14	40	32	412
15	66	33	413
16	92	34	413
17	118	35	413
18	151	40	414
19	172	50	415
20	197	60	414
21	224		

Tabelle 30

Expansion von GLASTONE in % lin. (Umrechnung der Tabelle 29)

	Exp. in % lin.
nach 10 Minuten	0,001
" 20 "	0,059
" 30 "	0,122
" 60 "	0,124

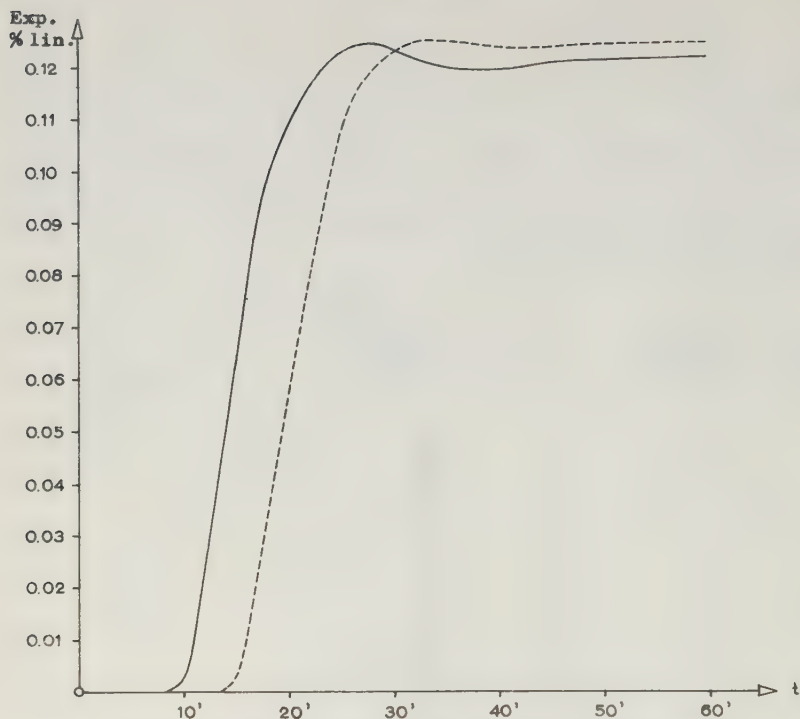


Diagramm 12. Darstellung der Expansion von GLASTONE in % lin. beim Mischungsverhältnis 20:100 (Kurve a) und beim Mischungsverhältnis 30:100 (Kurve b).

dd) Zusammenfassung der Ergebnisse

In den Diagrammen 9 - 12 haben wir uns auf die Darstellung der Expansion während der ersten Stunde beschränkt, da schon nach diesem Zeitpunkt die Expansion als abgeschlossen angesehen werden konnte, wie jeweils der erste Versuch in den Tabellen 20 und 22 zeigt.

Übereinstimmend sehen wir bei allen Diagrammen dieser Versuchsreihe eine überschießende Expansion zwischen der zwanzigsten und dreißigsten Minute, die wir mit dem Meßmikroskop nicht ermitteln konnten. Als Erklärung muß eine zusätzliche Wärmeexpansion angenommen werden, da hier große Mengen Modellmaterial zur Verwendung kamen im Gegensatz zu den Versuchen mit dem Meßmikroskop.

Die geringste Expansion zeigt wieder DUROC, wenn dieses Modellmaterial in dem von der Herstellerfirma angegebenen Mischungsverhältnis angerührt wird, mit einer Endexpansion von 0,087 % lin. bzw. 0,088 % lin. Eine Verminderung wie eine Vermehrung der Pulvereinstreumenge bewirkt eine Zunahme der Expansion, die aber äußerst gering ist.

Die Expansion von GLASTONE liegt zwischen 0,109 % lin. und 0,124 % lin. Auch hier wirkt sich eine Änderung des vorgeschriebenen Wasser-Pulver-Verhältnisses nur wenig ungünstig auf die Expansion aus.

Vergleichen wir noch die Expansionsergebnisse, die mit Hilfe des Meßmikroskopes ermittelt wurden, mit denen, die wir mit dem Quellungsmeßgerät gefunden haben, so stellen wir fest, daß beide Versuchsanordnungen die übereinstimmende Aussage zulassen:

- 1) Die Abbindeexpansion von DUROC ist geringer als die von GLASTONE.
- 2) In dem von der Herstellerfirma angegebenen Mischungsverhältnis angerührt, haben beide Modellmaterialien die geringste Expansion.
- 3) Eine Änderung des Wasser-Pulver-Verhältnisses hat nur eine geringe Auswirkung auf die Expansion von DUROC und GLASTONE.

3. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von DUROC und GLASTONE in Abhängigkeit von LASTIC 55

Im Anfang unserer Arbeit wiesen wir schon auf die Forderung hin, daß die verschiedenen Materialien, die man zur Herstellung von Gußarbeiten benötigt, aufeinander abgestimmt sein müssen, d.h. daß die Kontraktion eines Materials durch Expansion eines anderen weitgehendst ausgeglichen werden soll.

Aus diesem Grunde haben wir unsere Versuchsreihen, bei denen wir die absolute Expansion von DUROC und GLASTONE ermittelten, durch Versuche ergänzt, die diese Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55 zeigen.

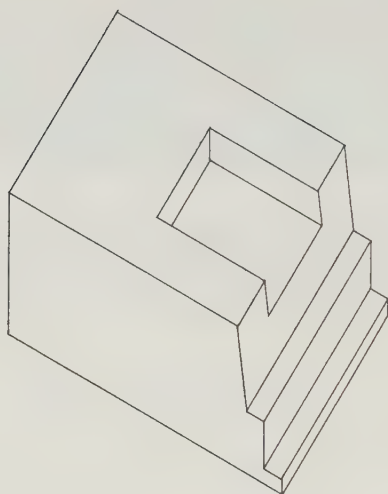
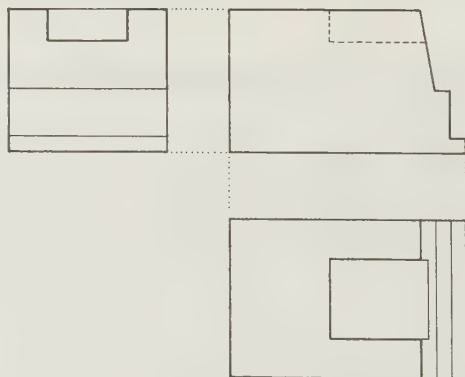


Abb. 5. Darstellung des vernickelten Messingversuchskörpers, der als Ganzes als stilisierter Kronenstumpf gedacht ist. Auf der Oberfläche zeigt er eine Aussparung in Form einer stilisierten approximal-okklusalen Kavität.



a) Mikroskopische Vermessung von Arbeitsmodellen, die von einem stilisierten Kronenstumpf gewonnen wurden

aa) Versuchsanordnung

Für unsere Untersuchungen ließen wir uns einen Versuchskörper aus Messing (Abb. 5) herstellen, der zusätzlich vernickelt war, um eine möglichst glatte Oberfläche zu bekommen. Der Versuchskörper als Ganzes stellte einen stilisierten Kronenstumpf dar, der auf der einen Seite eine Stufe besaß, während die andere Seite stufenlos endete. Auf der Oberfläche war eine Ausparung in Form einer stilisierten approximal-okklusalen Inlaykavität angebracht.

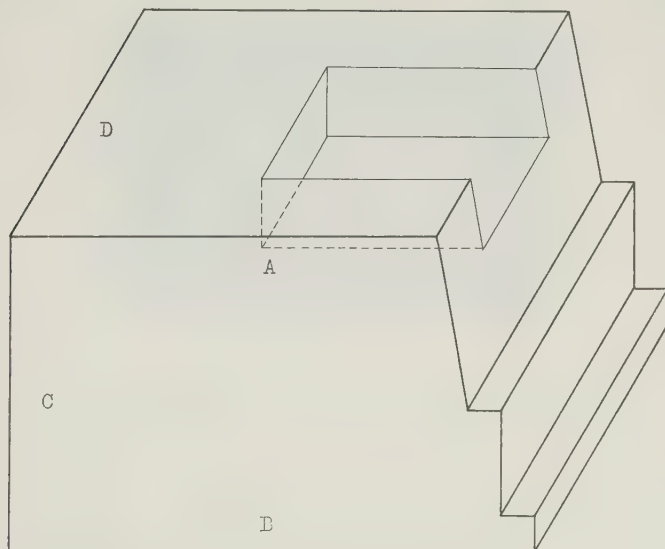


Abb. 6. Darstellung des vernickelten Versuchskörpers in seiner Funktion als stilisierter Kronenstumpf. Die vier zu vermessenden Strecken sind mit A, B, C und D gekennzeichnet.

Zuerst bedienten wir uns des Versuchskörpers in seiner Funktion als stilisierter Kronenstumpf. Zur Bestimmung der Dimensionsänderungen benutzten wir die vier in Abb. 6 bezeichneten Strecken A, B, C und D. Die Strecken A, B, C und D wurden jeweils fünfmal vermessen und die gefundenen Ergebnisse in der Tabelle 31 zusammengestellt. Der anschließend für die einzelnen Strecken angegebene Mittelwert berücksichtigt somit die Meßunsicherheit des Werkstattmeßmikroskopes.

Tabelle 31

Maße des Versuchskörpers in Mikron

Meßstrecke	A	B	C	D
Messung 1	11 747	14 024	9 987	7 840
" 2	11 748	14 023	9 987	7 841
" 3	11 748	14 023	9 989	7 843
" 4	11 746	14 023	9 988	7 843
" 5	11 747	14 023	9 988	7 841
Mittelwert	11 747	14 023	9 988	7 842

Zu dem eben beschriebenen Versuchskörper ließen wir uns zur Abdrucknahme ein stabiles perforiertes Kästchen aus Messing anfertigen, das in diesem Falle nicht vernickelt war, da wir zur besseren Haftung des Abdruckmaterials eine raue Oberfläche wünschten. Das Kästchen hatte überall zwei Millimeter Spiel zu dem Versuchskörper. Die exakte Einhaltung dieses Abstandes wurde durch eine Führung in Form eines um den Versuchskörper befestigten Rechteckes erreicht (Abb. 7 a und 7 b). Außerdem garantierte diese Führung immer die gleiche paralaxenfreie Einschubrichtung.

Zur Erklärung dieser Vorkehrungen muß gesagt werden:

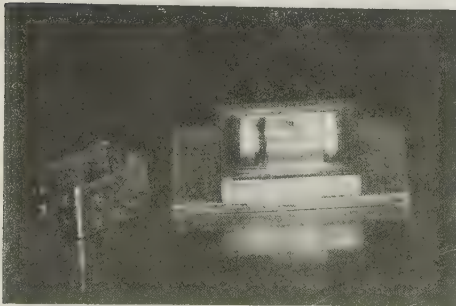


Abb. 7 a und 7 b. Darstellung des vernickelten, auf eine Bodenplatte montierten Versuchskörpers. Die Führungsschiene in Form eines Rechteckes ist in der Abbildung 7 b aufgeschraubt. Links ist auf beiden Bildern das unvernickelte, mit 20 Perforierungen versehene Kästchen abgebildet, das als Abdrucklöffel diente.

- 1) Der stabile, nicht verformbare Abdrucklöffel scheidet alle etwaigen Fehler durch mechanisches Verformen beim Abziehen des Abdrucks aus.
- 2) Die rauhe, nicht vernickelte Innenoberfläche des Abdrucklöffels mit den 20 Perforierungen garantiert stets das gleich gute Anhaften des Abdruckmaterials an der Löffelwand.
- 3) Die paralaxenfreie Einschubrichtung bewahrt vor etwaigen Korrekturen während des Aufschiebens des mit Abdruckmaterial gefüllten Kästchens.
- 4) Der stets gleiche Abstand des Modells zum Abdrucklöffel führt immer zu einer konstanten Schichtdicke des Abdruckmaterials.

Wie nötig gerade diese letzte Forderung ist, um vergleichbare Ergebnisse zu bekommen, zeigen u.a. die Arbeiten von ILG und KELLER. Die Autoren zeigen deutlich, wie die Ausdehnung bzw. die Schrumpfung des Abdruckmaterials von der Schichtdicke abhängig ist.

Als Abdruckmaterial verwendeten wir LASTIC 55, und zwar aus nachfolgenden Gründen:

- 1) Über dieses Material liegen genaueste Untersuchungen, besonders in Bezug auf Volumen- und Formkonstanz, vor.
- 2) Da in der Literatur verschiedene andere Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55 untersucht wurden, bestehen gute Vergleichsmöglichkeiten.
- 3) LASTIC 55 ist wegen seiner Formgenauigkeit, Formkonstanz, Vollerlastizität und Abriebfestigkeit in der Praxis weit verbreitet (BÖTTGER).

Der Grundkörper der Silikon-Abdruckmassen, zu denen das LASTIC 55 gehört, ist nach EFFINGER:

"Ein hochpolymeres Dimethylpolysiloxan, das durch katalytische Polykondensation eines Silikonöls gewonnen wird. Aus dieser wasserklaren und stark viskösen Flüssigkeit entsteht durch Vulkanisation der Silikon-Kautschuk. Um die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieses Silikon-Kautschukes zu ändern, vor allem um seine geringe me-

chanische Festigkeit zu steigern, kann man anorganische Füllkörper einlagern. Physikalisch-chemisch besitzt der Silikon-Kautschuk einen Aggregatzustand zwischen fest und flüssig, der etwa dem des Gummis gleicht. Er gehört infolgedessen zu den gummielastischen Stoffen. Silikon-Kautschuk soll frei sein von toxischen Stoffen, so daß man mit irgendwelchen Gewebssirritationen nicht zu rechnen braucht. Um eine für zahnärztliche Zwecke geeignete Silikonabdruckmasse gebrauchsfertig herzurichten, wird die hochvisköse Masse mit einer Flüssigkeit, dem Vernetzungskatalysator, angerührt. Dabei ist die Flüssigkeitsmenge ausschlaggebend für die Geschwindigkeit, mit der die angerührte Masse in den gummielastischen Zustand übergeht. Während des Abbindens verwandelt sich der Zustand der Masse von dem der plastischen Deformierbarkeit in den der elastischen Deformierbarkeit."

Über das Dimensionsverhalten von LASTIC 55 sagt ILG in verschiedenen Arbeiten u.a.:

"Silikonabdrücke mit LASTIC 55 von einer Kronenpräparation zeigen bei einem Abdruckalter von einer Stunde eine Verkleinerung der Urform. Neben dieser Kontraktion der Abdruckhohlform gegenüber der Urform findet eine Verzerrung derselben statt.

Silikonabdrücke eines zentralen Inlays zeigen eine Verkleinerung der Urform und eine Verzerrung der ursprünglichen Kavitätenform.

Silikonabdrücke zeigen ein vom Alter abhängiges Dimensionsverhalten.

Bei Silikonabdrücken von einer Vollgußpräparation bedingt Herabsetzen der Temperatur eine Vergrößerung des Abdruckvolumens. Beim zentralen Inlay dagegen wird durch Abkühlen eine Verkleinerung der gegebenen Kavitätenform bedingt.

Die Auswertung und Ausmessung der sog. zweiseitig exzentrischen und sog. einseitig exzentrischen Silikonabdrücke läßt einen bemerkenswerten Einfluß derartiger Abdruckmassenverteilung auf die Abdruckhohlform erkennen."

Ergänzend dazu teilt SCHWINDLING mit:

"Bei der Abdrucknahme formt die Masse (gemeint ist LASTIC 55) nicht allein durch ihr Fließvermögen, sondern es muß Druck angewendet wer-

den, so daß die Masse aus ihrer Lage verdrängt und um das Modell gepreßt wird. Dieser Anteil der Formgebung bewirkt eine innere Spannung der Masse und federt beim Herausnehmen des abgebundenen Abdruckes aus dem Mund bzw. vom Modell, um dann innerhalb von 24 Stunden über die Ursprungsgröße in eine Kontraktion überzugehen."

Die zuvor erwähnten Untersuchungsergebnisse von ILG und SCHWINDLING veranlaßten uns, bei der Abdrucknahme und Modellherstellung die nachfolgenden konstanten Bedingungen zu wählen:

- 1) Die Raumtemperatur betrug stets $18^{\circ} - 20^{\circ} \text{ C}$.
- 2) Die Luftfeuchtigkeit wurde durch eine Klimaanlage konstant gehalten.
- 3) Die Temperatur des Aqua dest. wurde auf Raumtemperatur eingestellt.
- 4) LASTIC 55 wurde stets entsprechend den Angaben der Herstellerfirma angerührt.
- 5) Als Abbindezeit des LASTIC 55 wurden fünf Minuten eingehalten.
- 6) Das Anmengen der Modellmaterialien erfolgte stets in einer Minute.
- 7) Sofort nach dem Abziehen des Abdruckes wurde dieser ausgegossen.
- 8) Das Vermessen der Prüflinge erfolgte stets 30 Minuten nach dem Ausgießen.

Vor der Abdrucknahme haben wir den Versuchskörper hauchdünn mit Silikonöl isoliert, um ein leichteres Entfernen des Abdruckes zu garantieren. Wir sahen davon ab, ihn mit Speichel zu isolieren, da Silikone hydrophob sind, d.h. sie können beim Abbinden kein Wasser aufnehmen, wodurch es nach STÜBEN und anderen Autoren zu Ungenauigkeiten kommen kann.

Nach dem Isolieren wurde die Führungsschiene um den Versuchskörper auf die Grundplatte aufgeschraubt. Daran anschließend spachtelten wir zwei Teilstriche LASTIC 55 mit zwei Tropfen blauem und zwei Tropfen gelbem Katalysator auf einer von der Herstellerfirma mitgelieferten Anrührplatte eine halbe Minute kräftig durch. Nach einer weiteren Minute schoben wir jeweils den beschickten Abdrucklöffel über das Modell.

Vier Minuten nach Beginn des Anrührens von LASTIC 55 wurde das eingewogene Modellmaterial mit dem abpipettierten Aqua dest. in dem vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis eine Minute lang kräftig gemischt.

Sofort nach der Entfernung vom Modell gossen wir die Abdrücke aus, da "das z.Zt. sich im Handel befindende LASTIC 55 kaum Expansion zeigt, so daß sofort ausgegossen werden kann" (KELLER). Dabei bedienten wir uns eines Rüttlers der Firma WIPLA. Dieser Arbeitsgang war jeweils nach einer weiteren Minute erledigt. So stellten wir sowohl 20 DUROC- als auch 20 GLASTONE-Modelle her. Etwa 30 Minuten nach dem Einrütteln nahmen wir die Prüflinge aus den Abdrücken und legten sie sofort zum Vermessen unter das Mikroskop. Vermessen wurden an jedem Modell je einmal die in Abb. 5 angegebenen Strecken A, B, C und D. Nach 24 Stunden unterzogen wir jedes Modell ein zweites Mal dem Meßvorgang.

bb) Untersuchungsergebnisse

Entsprechend den verwendeten Modellmaterialien haben wir unsere Untersuchungsergebnisse in den Tabellen 32 und 33 zusammengestellt.

Aus den 20 Versuchen errechneten wir jeweils den Mittelwert und verglichen ihn mit der Abmessung des Originalkörpers.

Die sich ergebende Differenz haben wir zunächst in Mikron angegeben. Anschließend ist die Expansion in linearen Prozent berechnet worden.

Tabelle 32

Vermessung von DUROC-Modellen

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 24:100

Maßangaben in Mikron

Meßstrecke	A	B	C	D
Versuch Nr. 1	11 766	14 039	9 996	7 852
" " 2	11 761	14 045	9 988	7 850
" " 3	11 763	14 042	9 993	7 855
" " 4	11 750	14 031	9 998	7 851
" " 5	11 759	14 040	9 999	7 848
" " 6	11 752	14 038	9 998	7 852
" " 7	11 763	14 047	9 995	7 842
" " 8	11 768	14 040	9 999	7 860
" " 9	11 741	14 029	9 997	7 851
" " 10	11 760	14 038	10 000	7 850
" " 11	11 761	14 031	9 994	7 847
" " 12	11 759	14 041	9 997	7 853
" " 13	11 751	14 031	10 001	7 859
" " 14	11 765	14 038	9 993	7 844
" " 15	11 762	14 041	9 998	7 858
" " 16	11 758	14 035	9 992	7 845
" " 17	11 774	14 048	10 001	7 847
" " 18	11 759	14 031	9 997	7 851
" " 19	11 766	14 037	9 991	7 843
" " 20	11 762	14 035	9 997	7 855
Mittelwert	11 760	14 037	9 997	7 851
Original	11 747	14 023	9 988	7 842
Differenz	+ 13	+ 14	+ 9	+ 9
Expansion	0,11 %	0,10 %	0,09 %	0,11 %

Tabelle 33

Vermessung von GLASTONE-Modellen

Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 25:100

Maßangaben in Mikron

Meßstrecke		A	B	C	D
Versuch Nr.	1	11 766	14 043	10 000	7 852
"	" 2	11 769	14 040	9 997	7 855
"	" 3	11 763	14 040	10 003	7 849
"	" 4	11 761	14 048	9 998	7 859
"	" 5	11 764	14 044	10 005	7 853
"	" 6	11 760	14 041	10 003	7 853
"	" 7	11 766	14 040	9 997	7 857
"	" 8	11 765	14 055	10 000	7 855
"	" 9	11 765	14 049	10 004	7 849
"	" 10	11 760	14 040	10 000	7 848
"	" 11	11 769	14 040	9 995	7 850
"	" 12	11 763	14 041	9 999	7 851
"	" 13	11 767	14 047	10 005	7 856
"	" 14	11 767	14 046	10 007	7 849
"	" 15	11 769	14 037	10 001	7 845
"	" 16	11 764	14 040	10 001	7 857
"	" 17	11 760	14 044	9 997	7 859
"	" 18	11 765	14 046	9 996	7 851
"	" 19	11 761	14 041	10 004	7 851
"	" 20	11 759	14 039	9 999	7 852
Mittelwert		11 765	14 043	10 001	7 852
Original		11 747	14 023	9 988	7 842
Differenz		+ 18	+ 20	+ 13	+ 10
Expansion		0,15 %	0,14 %	0,13 %	0,13 %

Die Tabellen 32 und 33 zeigen, daß sowohl die DUROC- als auch die GLASTONE-Modelle größer sind als der Originalstumpf. Bei DUROC reicht die Vergrößerung von 0,09 % lin. bis zu 0,11 % lin., während die GLASTONE-Modelle mehr expandierten, und zwar von 0,13 % lin. bis 0,15 % lin. Das stimmt mit unseren Ergebnissen über die absolute Expansion der beiden Modellmaterialien überein.

b) Mikroskopische Vermessung der Spaltbreiten zwischen Inlay und Kavität

aa) Versuchsanordnung

In dieser Versuchsreihe fand der Metallkörper als stilisierte approximal-okklusale Inlaykavität Verwendung (Abb. 8). Die Maße der Aussparung entsprachen etwa der Größe einer approximal-okklusalen Kavität im Molarenbereich.

Unter den gleichen Bedingungen wie wir sie schon in dem vorstehenden Kapitel schilderten, wurden DUROC- und GLASTONE-Modelle hergestellt. Diese Gipsmodelle isolierten wir mit ANTICOLL (Herstellerfirma WILDE) und nicht mit Silikonöl wie die Metallmodelle, da mit Hilfe von ANTICOLL sich die Wachsmodelle leichter abziehen ließen.

Wie GÜNTHER wählten wir von den drei bekannten Modelliermethoden die Preßtechnik, da sie nach T. FUSAJAMA die minimalste Veränderung an Volumen und Form gegenüber der Kavität bewirkt.

Auch im weiteren hielten wir uns an die von GÜNTHER benutzte Versuchsmethode:

"Die mit DEGUSSA-Gußröhrchen abgezogenen Wachsmodelle (grünes Prepon-Stangenwachs der FARBENFABRIKEN BAYER AG.) versahen wir mit einer Reservekugel, 'verlorener Kopf' nach BONSACK und KERR. Die Wachsmodelle betteten wir in zwei Phasen ein, wobei mit einer großen Feile an der Muffel gerüttelt wurde, wie es JANKE zur blasenfreien Einbettung empfiehlt."

Als Einbettungsmasse verwendeten wir DUROTHERM und als Gußma-

terial MAINGOLD 23er, das uns die Firma HERAEUS, der wir an dieser Stelle für ihr Entgegenkommen unseren Dank aussprechen möchten, zur Verfügung stellte.

Nach völligem Erkalten der Muffel wurden die Gußobjekte in Schwefelsäure abgesäuert und von eventuellen Gußperlen befreit. Ohne weitere Verarbeitung, wie Schleifen, Anfinieren, Polieren, setzten wir die Inlays auf die DUROC- bzw. GLASTONE-Stümpfe, auf denen sie modelliert worden waren.

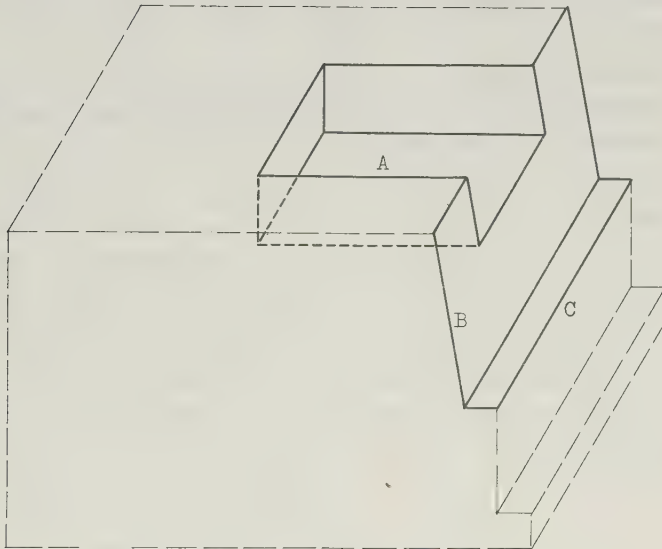


Abb. 8. Schematische Darstellung des vernickelten Messingversuchskörpers. Die ausgezogenen Linien kennzeichnen die stilisierte approximal-okklusale Inlaykavität. Die Untersuchung der Spaltbreite erfolgte an den mit A, B und C gekennzeichneten Strecken.

Von den zwölf auf DUROC- und den zwölf auf GLASTONE-Stümpfen hergestellten Inlays suchten wir je sieben Inlays aus, die einen einwand-

freien Sitz auf den Stümpfen zeigten. Dadurch schieden wir Fehler aus, die sich eventuell bei dem Gußvorgang einschleichen konnten und die wir in dieser Versuchsreihe nicht berücksichtigen wollten. Die ausgesuchten Inlays setzten wir anschließend auf das Metallmodell und maßen die Spaltbreite mit Hilfe des schon zuvor beschriebenen Werkstattmeßmikroskopes WM 1.

bb) Untersuchungsergebnisse

Unsere Untersuchungen erstreckten sich auf folgende drei Abschnitte:

- 1) Okklusal stellten wir das Mikroskop auf die in Abb. 8 mit A bezeichnete Kavitätenwand ein und erfaßten durch Parallelverschiebung bis zum okklusalen Inlayanteil die okklusale Spaltbreite.
- 2) Ebenso stellten wir entlang des mit B bezeichneten Scheibenschnittes den Abstand des Inlays vom Scheibenschnitt fest.
- 3) Indem wir entlang der mit C bezeichneten Stufe unser Mikroskop einstellten, konnten wir durch Parallelverschiebung bis zur Inlaystufe die Schrumpfung in diesem Abschnitt messen.

Die Ergebnisse unserer Messungen sind in den Tabellen 34 und 35 zusammengestellt.

Tabelle 34

Spaltbreite der auf DUROC modellierten Inlays in Mikron

Spalt bei:	A	B	C
Versuch Nr. 1	60	65	75
" " 2	55	45	80
" " 3	65	55	30
" " 4	5	45	65
" " 5	90	70	55
" " 6	55	65	45
" " 7	60	55	90
Mittelwert (aufgerundet)	56	57	63

Tabelle 35

Spaltbreite der auf GLASTONE modellierten Inlays in Mikron

Spalt bei:	A	B	C
Versuch Nr. 1	75	50	75
" " 2	--	50	50
" " 3	65	80	80
" " 4	60	55	65
" " 5	10	30	45
" " 6	65	75	65
" " 7	45	55	80
Mittelwert (aufgerundet)	53	56	66

Wie aus Tabelle 34 zu ersehen ist, liegt die größte Spaltbildung zwischen Inlay und Kavität an der zervikalen Stufe, wenn die Modellation auf DUROC-Modellen erfolgte. Zu dem gleichen Ergebnis kommen wir auch in Tabelle 35. Bei diesen Untersuchungen wurde die Wachsmodellation auf GLASTONE-Stümpfen durchgeführt. Verglichen mit den Ergebnissen anderer Autoren (AHRENS, NAUJOKS), sind die von uns ermittelten Spaltbreiten verhältnismäßig gering. Dies läßt sich durch die zuvor beschriebene Auslese erklären, durch die Gußfehler ausgeschieden wurden, da wir nur die Inlays weiter verwendeten, die auf ihren Modellstümpfen einwandfrei saßen. So kamen von jeweils zehn Inlays sieben zur Vermessung.

Im Rahmen unserer Arbeit interessierte uns neben der Spaltbreite in ihrer absoluten Dimension vor allem, ob bei den auf DUROC- und den auf GLASTONE-Modellen modellierten Inlays die Spaltbreite unterschiedlich groß ist.

Ein Vergleich der beiden Tabellen ergibt, daß sich die Größenordnung der ermittelten Spaltbreiten im gleichen Rahmen hält. Sie ist aber in den einzelnen Versuchen bei beiden Materialien großen Schwankungen unterworfen. Dies ist keinesfalls verwunderlich, wenn wir uns an die im Anfang unserer Arbeit aufgezeigten Möglichkeiten wie Deformierung, Kontraktion, Expansion usw. erinnern, die sich bis zur Fertigstellung des Gußobjektes auswirken können.

4. Vergleichende Untersuchungen der Oberflächenbeschaffenheit der Modellmaterialien DUROC, GLASTONE, MOLDANO und PALAVIT M mit dem RAUTESTER der Firma LEITZ

a) Oberflächenbeschaffenheit der verschiedenen Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas

aa) Versuchsanordnung

In dem nun folgenden Kapitel haben wir unsere Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit, d.h. über die mikrogeometrische Gestalt von DUROC und GLASTONE zusammenge-

stellt und sie mit der einiger anderer Modellmaterialien für die indirekte Inlay- bzw. Kronentechnik verglichen. Es bedarf keiner weiteren Erläuterung, daß eine möglichst glatte Oberfläche des Modellstumpfes sich auf das Wachsmode'll und weiter auf das fertige Gußstück günstig auswirkt.

So erwähnten wir schon im Anfang unserer Arbeit als Nachteil der auf Gipsbasis aufgebauten Modellmaterialien u.a. die verhältnismäßig rauhe Oberfläche. Inwieweit sich die Oberflächenbeschaffenheit von GLASTONE gegenüber der von DUROC, MOLDANO und PALAVIT M unterscheidet, werden die folgenden Ergebnisse zeigen.

Für unsere Messungen benutzten wir den von der Firma LEITZ WETZLAR entwickelten RAUHTESTER (Abb. 9).

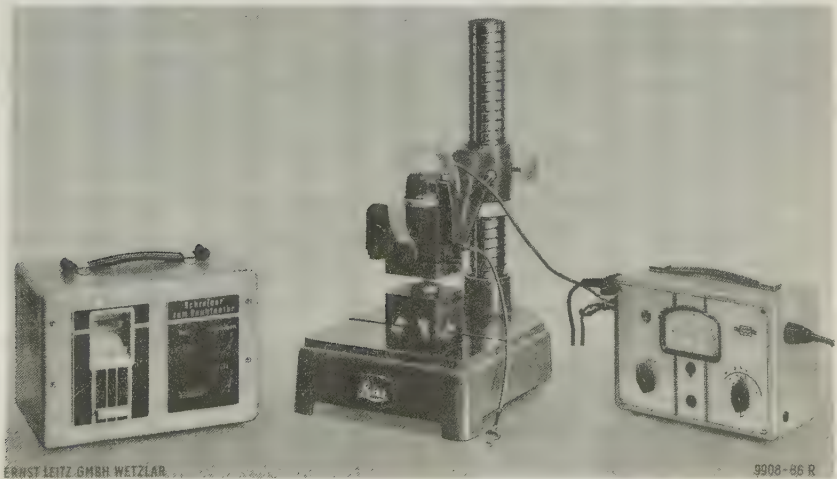


Abb. 9. Darstellung des Oberflächenprüfgerätes RAUHTESTER der Firma E. LEITZ GMBH., WETZLAR, und des HELCOSCRIPTOR He - 1b der Firma F. HELIGE & CO. GMBH., FREIBURG.

Besonders drei Punkte bestimmten die Wahl dieses Gerätes:

- 1) Anpassung an alle vorkommenden Rauhtiefen durch fünf Meßbereiche.
- 2) Große Arbeitsgenauigkeit durch kleine Tastkraft von nur ca. 0,7 g.
- 3) Registrierung der Rauhtiefe bis zu 30 000facher Vergrößerung.

Um die Arbeitsweise dieses RAUHTESTERS zu erklären, möchten wir das Wichtigste auszugsweise aus einem Begleitschreiben zu diesem Prüfgerät wiedergeben:

"Das Oberflächenprüfgerät RAUHTESTER besteht aus einem induktiven Tastgerät und einem elektrischen Verstärker mit Anzeigeinstrument. Der Tastbolzen mit der Tastnadel wird von zwei Membranen geführt, die nur senkrechte Bewegungen zulassen. Die Membrane steht nach dem Aufsetzen der Tastnadel auf die Werkstückoberfläche unter geringer Vorspannung, wodurch die Tastnadel auch beim Überfahren großer Rauhtiefen mit der Oberfläche in Kontakt bleibt. Die Bewegungen der Tastnadel werden durch den Tastbolzen auf ein Tauchspulensystem übertragen. Die in der Tauchspule induzierte Spannung wird im Verstärker so verwandelt, daß direkt der arithmetische Mittelwert angezeigt wird.

Im Tastgerät gleitet der Tastkopf auf einer optisch plangeschliffenen horizontalen Führungsbahn, die zur Oberfläche des Prüfstückes ausgerichtet werden kann. Den Ablauf von 6 bis 7 Millimeter Länge bewirkt eine Zugfeder, die beim Vorschieben des Tastkopfes in die Ausgangsstellung mit einem Auslöser gespannt wird. Der Rücklauf wird zur Messung benutzt. Eine Ölbremse sichert einen gleichmäßigen ruhigen Lauf und gestattet, die Vorschubgeschwindigkeit zu regulieren. Die auswechselbare Saphir-Tastnadel mit einem Radius von etwa 15 μ gleitet mit etwa 0,7 g Tastkraft über die Oberfläche.

Der gesamte Meßbereich von 0 bis 60 μ ist in fünf Teilmeßbereiche aufgegliedert. Die Scala ist in zwei Grundteilungen aufgeteilt. Die obere R_t -Teilung gibt die durchschnittliche Rauhtiefe an, die untere Scala den nach der Norm festgelegten R_a -Wert (arithmetischer Mittelrauhwert). Beide Ablesungen erfolgen in μ . Der R_a -Wert entspricht dem in der englischen Norm festgelegten CLA-Wert. R_a - und R_t -Werte stehen in einem bestimmten Verhältnis, so daß sich folgende Meßberei-

che ergeben:

Meßbereich	R_a	R_t
1	0 - 0,3 μ	0 - 1 μ
2	0 - 1 μ	0 - 3 μ
3	0 - 3 μ	0 - 10 μ
4	0 - 10 μ	0 - 30 μ
5	0 - 20 μ	0 - 60 μ

Die Messung des R_t -Wertes geschieht durch eine Vergleichsmessung. Mit Hilfe eines Oberflächenvergleichsstückes bekannten R_t -Wertes wird der Verstärker geeicht."

An den Verstärker und das Anzeigegerät kann eine Registriereinrichtung angeschlossen werden. Von den drei angegebenen Schreibertypen benutzten wir zur Aufzeichnung der Rauhtiefe den HELCOSCRIPTOR He - 1b der Firma F. HELLIGE & CO. GMBH., FREIBURG. Dieses elektromagnetische Schreibsystem überträgt mit einem geheizten Zeiger die gemessenen Werte auf Wachspapier. Die Vertikalvergrößerung auf dem Registrierstreifen beträgt entsprechend den fünf Meßbereichen des Verstärker- und Anzeigegerätes 500- bis 30 000fach. Die Horizontalvergrößerung richtet sich nach der Vorschubgeschwindigkeit des Tastgerätes und den Registrierstreifen in den Schreibern und ist bei HELCOSCRIPTOR 25fach.

Zuerst untersuchten wir das Verhalten der Oberfläche einiger Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas. Als geeignete Glasscheiben wählten wir Objektträger.

Anhand von Vorprüfungen an den verschiedenen Modellmaterialien suchten wir den passenden Meßbereich. Wir entschieden uns für den dritten Meßbereich, d.h. der arithmetische Mittelrauhwert reicht von Null bis drei Mikron ($R_a = 0 - 3 \mu$) und die durchschnittliche Rauhtiefe von Null bis zehn Mikron ($R_t = 0 - 10 \mu$).

Zuerst wurden die Oberflächen der einzelnen Objektträger in dem fest-

gelegten Meßbereich abgetastet. Die Aufzeichnungen der einzelnen Oberflächen in dieser nicht sehr hohen Empfindlichkeit mit dem HELIOSCRIPTOR ergaben ein so einheitliches Bild, daß wir mit gutem Gewissen die mikrogeometrische Gestalt der einzelnen geprüften Objektträger untereinander gleichsetzen konnten. Daher können wir uns auf die Wiedergabe einer einzigen Aufzeichnung der "Rauhheit" eines solchen Objektträgers beschränken und sie als "mittlere Rauhheit" für alle verwendeten Objektträger angeben (Abb. 10).

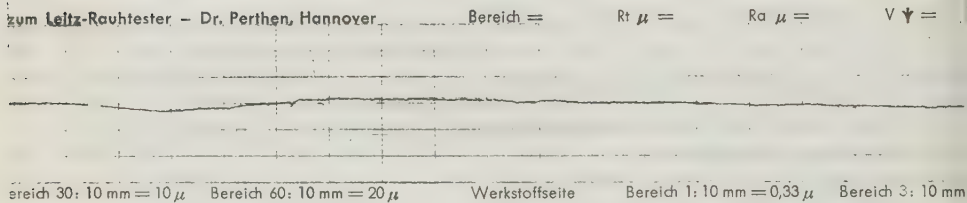


Abb. 10. Darstellung der Oberflächenbeschaffenheit eines Objektträgers.

Die Prüflinge dieser Versuchsreihe stellten wir folgendermaßen her: DUROC bzw. GLASTONE wurden mit Aqua dest. im Verhältnis Wasser : Pulver = 24:100 bzw. 25:100 eine Minute lang kräftig durchgespachtelt. Den Gipsbrei brachten wir dann zwischen zwei Objektträger. Ebenso geschah es mit Vergleichsproben von MOLDANO (Wasser : Pulver = 33:100) und PALAVIT M.

Jeweils nach einer halben Stunde ließen sich die Objektträger leicht von den Materialien abheben - ausgenommen vom PALAVIT M. Von diesem Kunststoff konnten die Glasplatten erst nach kräftigem Ziehen entfernt werden.

bb) Untersuchungsergebnisse

Die Registrierstreifen (Abb. 11) haben wir der Rauheit nach geordnet, beginnend mit dem Modellmaterial, das die relativ günstigste Oberfläche zeigt. Der Abstand von einem Millimeter auf dem Registrierstreifen entspricht einer Rauheit von $0,33/\mu$.

Wie erwartet zeigten die auf Gipsbasis aufgebauten Modellmaterialien ein verhältnismäßig rauhes Oberflächenbild, verglichen mit dem Methacrylat PALAVIT M. Der Registrierstreifen 1 in Abb. 11 zeigt die Oberflächenbeschaffenheit von PALAVIT M. Die hohen Schwingungen der Tastnadel am Ende der Aufzeichnung sind als Kunstprodukt zu werten.

Vergleichen wir die drei untersuchten Hartgipse DUROC, GLASTONE und MOLDANO, so zeigt MOLDANO die relativ günstigste Oberflächen-glätte. Der Registrierstreifen 2 (Abb. 11) zeigt Werte, die von ca. $+ 2,5/\mu$ bis $- 2,5/\mu$ reichen. Eine etwas rauhere Oberfläche zeigt die GLASTONE-Probe. Hier schwanken die Werte von ca. $+ 3,5/\mu$ bis $- 3,5/\mu$ (Registrierstreifen 3 in Abb. 11). Die relativ ungünstigsten Werte der von uns untersuchten Modellmaterialien sehen wir bei DUROC. Hier zeigt der Registrierstreifen Werte, die bei ca. $+ 5,5/\mu$ bis $- 5,5/\mu$ liegen (Registrierstreifen 4 in Abb. 11). Diese Untersuchungsergebnisse decken sich mit denen von COHEN, der feststellte, daß GLASTONE in Abhängigkeit von Glas eine glattere Oberfläche zeigt als DUROC.

b) Oberflächenbeschaffenheit verschiedener Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55

aa) Versuchsanordnung

Da diese Ergebnisse mehr theoretischen als praktischen Wert besitzen, wurden in einer neuen Versuchsreihe die gleichen Modellmaterialien noch einmal untersucht, jedoch nun in Abhängigkeit von LASTIC 55.

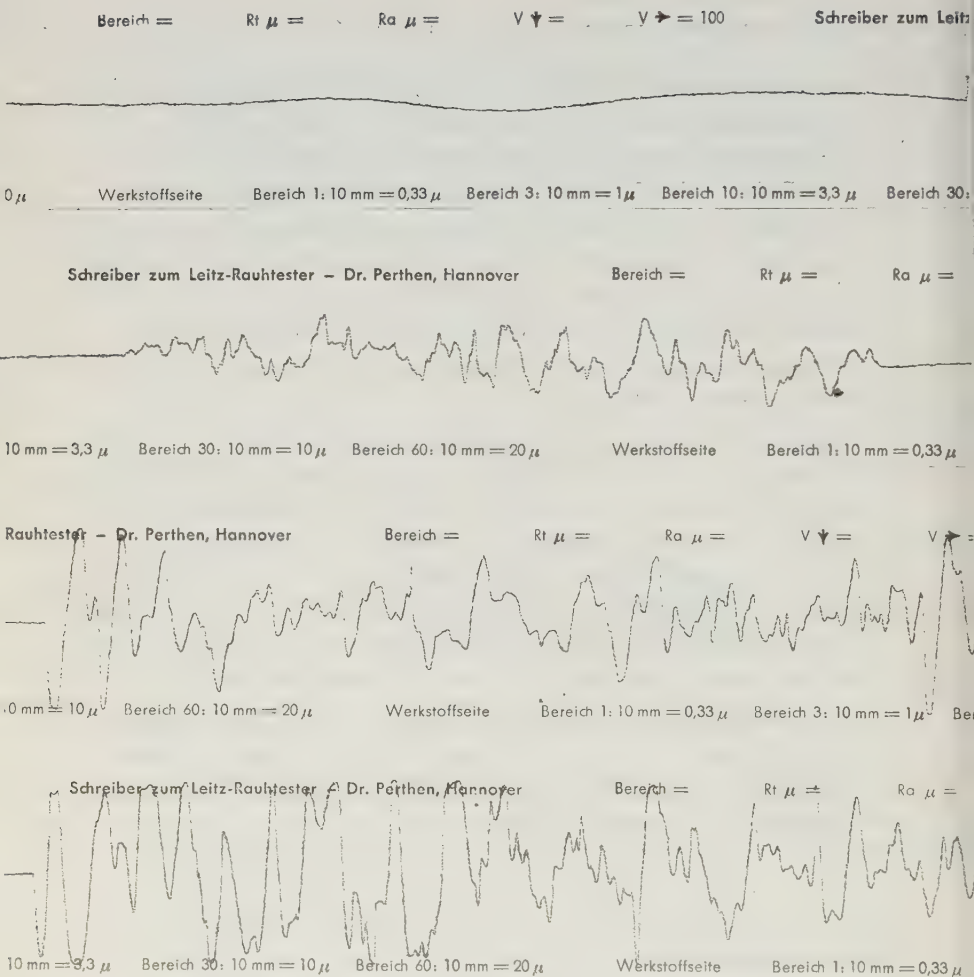


Abb. 11. Darstellung der Oberflächenbeschaffenheit verschiedener Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas.

- Registrierstreifen 1 PALAVIT M
 Registrierstreifen 2 MOLDANO
 Registrierstreifen 3 GLASTONE
 Registrierstreifen 4 DUROC

Wir nahmen von unserem zuvor beschriebenen Versuchskörper (Abb. 5) Abdrücke mit LASTIC 55. Dabei hielten wir uns an die von der Herstellerfirma gemachten Angaben über die Verarbeitung dieses Abdruckmaterials.

Die fertigen Abdrücke gossen wir sofort mit den verschiedenen Modellmaterialien aus. Bei der Herstellung des Gipsbreies hielten wir die gleichen konstanten Bedingungen ein, die wir zuvor beschrieben haben. Wir konnten also nun feststellen, wie sich die Oberflächen der einzelnen Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55 verhielten; darüber hinaus bestand die Möglichkeit, diese Ergebnisse mit den in Abhängigkeit von Glas ermittelten zu vergleichen.

Die Messung der Rauhtiefe erfolgte wiederum mit dem RAUHTESTER. Zuerst tasteten wir den Metallkörper an einer markierten Stelle ab, an der später auch die anderen Modelle untersucht werden sollten. Die Abb. 12 gibt das Oberflächenbild des vernickelten Metallkörpers wieder:

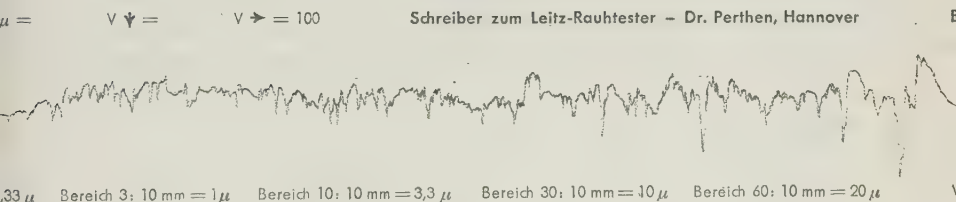


Abb. 12. Darstellung der Oberflächenbeschaffenheit des vernickelten Metallkörpers.

bb) Untersuchungsergebnisse

Die nachfolgenden Registrierstreifen (Abb. 13) zeigen das Oberflächenrelief von PALAVIT M, MOLDANO, GLASTONE und DUROC. Dem Abstand von einem Millimeter auf dem Registrierstreifen entspricht wiederum eine Rauheit von 0,33 μ .

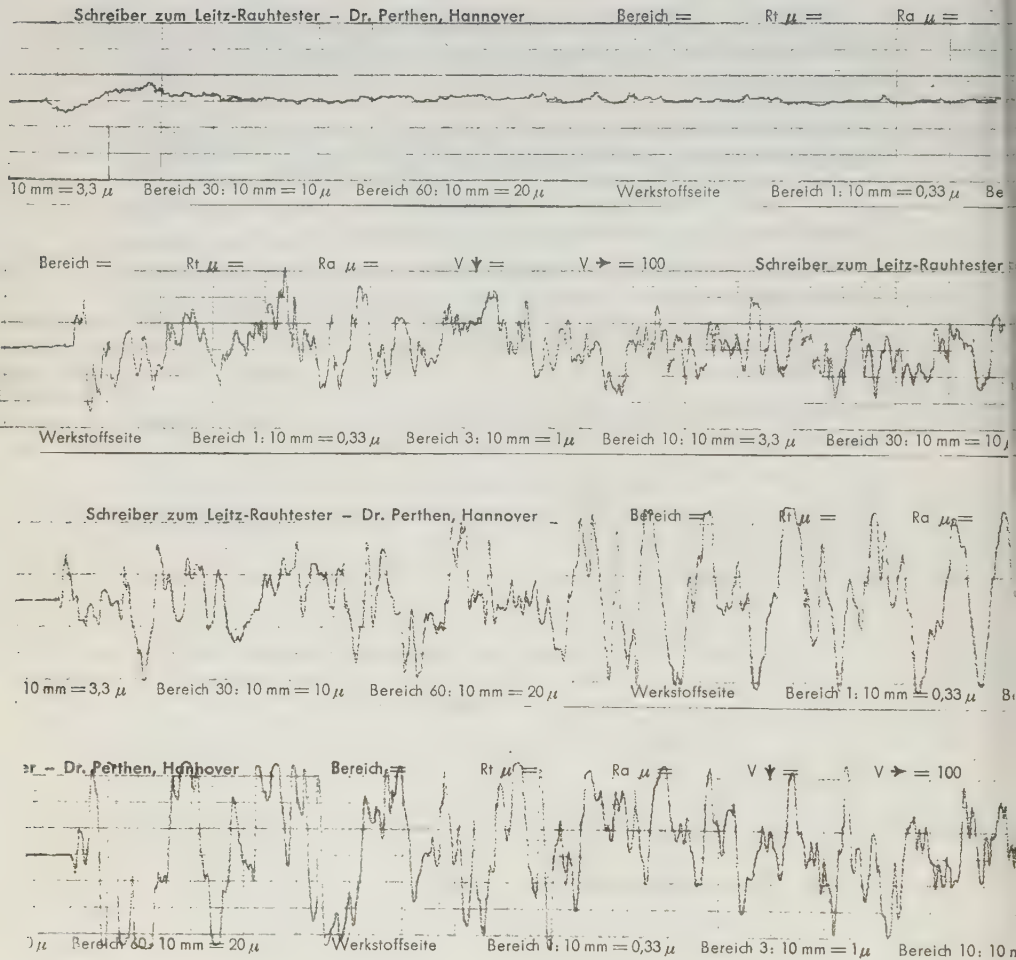


Abb. 13. Darstellung der Oberflächenbeschaffenheit verschiedener Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55.

- Registrierstreifen 1 PALAVIT M
- Registrierstreifen 2 MOLDANO
- Registrierstreifen 3 GLASTONE
- Registrierstreifen 4 DUROC

Von den vier untersuchten Modellmaterialien PALAVIT M, MOLDANO, GLASTONE und DUROC zeigt wieder das auf Kunststoffbasis aufgebaute PALAVIT M die besten Werte (Registrierstreifen 1 in Abb. 13). Die maximalen Schwingungen liegen unter einem Mikron.

Erst mit Abstand folgt die Gruppe der auf Gipsbasis aufgebauten Materialien, angeführt von dem Hartgips MOLDANO. Hier schwanken die Werte von ca. $+ 3,3/\mu$ bis $- 3,3/\mu$, wenn wir von dem einen hohen Ausschlag im Anfang der Registrierung absehen (Registrierstreifen 2 in Abb. 13).

Die Oberflächenrauheit von DUROC und GLASTONE unterscheidet sich hier nicht so viel, wie wir in Abhängigkeit von Glas festgestellt hatten (Registrierstreifen 3 und 4 in Abb. 13). Die Werte gehen über den Meßbereich des Registrierstreifens hinaus und müssen bei Fortsetzung der Millimetereinteilung mit ungefähr $+ 5,9/\mu$ bis $- 5,9/\mu$ bei beiden Modellmaterialien angegeben werden. Dennoch können GLASTONE geringe Vorteile eingeräumt werden, wenn wir den gesamten Kurvenverlauf betrachten.

Vergleichen wir noch abschließend die Registrierstreifen, die wir einmal in Abhängigkeit von Glas (Abb. 11), zum anderen in Abhängigkeit von LASTIC 55 (Abb. 13) aufzeichneten, so müssen wir feststellen, daß alle untersuchten Materialien ein günstigeres Oberflächenrelief gegenüber Glas zeigen als in Abhängigkeit von LASTIC 55.

III. Diskussion der Ergebnisse

Zur Herstellung von Gußfüllungen sind zwei Verfahren bekannt, nämlich die direkte und die indirekte Methode. Letztere ist durch Abdrucknahme und Modellherstellung gekennzeichnet.

Die dazu benutzten Modellmaterialien lassen sich entsprechend ihrer Zusammensetzung in verschiedene Gruppen einteilen. Die von uns untersuchten Modellwerkstoffe DUROC und GLASTONE (RANSOM & RANDOLPH CO., TOLEDO, OHIO) gehören zu den sogenannten Hartgipsen.

Wir bestimmten zunächst die lineare Expansion dieser beiden Materialien mit einer eigens hierfür geschaffenen Versuchsanordnung und eines WERKSTATTMESSMIKROSKOPES der Firma LEITZ WETZLAR. Unter Einhaltung des vom Hersteller angegebenen Wasser-Pulver-Verhältnisses stellten wir bei DUROC eine Endexpansion von 0,072 % lin. fest. Dieser Wert lag um 0,022 % höher als der von der Herstellerfirma angegebene. Bei GLASTONE betrug nach 24 Stunden die Endexpansion 0,102 % lin. Sie war ebenfalls um 0,022 % höher als der vom Hersteller angegebene maximale Wert.

Da in der Praxis Pulver und Flüssigkeit zumeist nicht abgemessen und dadurch die angegebenen Mischungsverhältnisse nicht genau eingehalten werden, untersuchten wir die beiden Modellmaterialien bei zwei extremen Wasser-Pulver-Verhältnissen. Bei DUROC machte sich eine Verminderung wie eine Vermehrung der Wassermenge mit einer Zunahme der linearen Expansion um 0,002 % lin. bemerkbar. Bei GLASTONE erhöhte sich die Endexpansion um 0,006 % lin. bzw. um 0,008 % lin. Diese Ergebnisse lassen erkennen, daß eine Änderung des Wasser-Pulver-Verhältnisses sich nur gering auf die Expansion der von uns untersuchten Modellmaterialien auswirkt. So erfüllen DUROC und GLASTONE die Forderung nach einfacher Handhabung. Das besitzt große praktische Bedeutung, da - wie eingangs erwähnt wurde - in den zahntechnischen Laboratorien zumeist auf eine genaue Abmessung verzichtet wird.

Unsere Untersuchungen mit dem Quellungsmeßgerät nach H. LEHMANN zeigten ebenfalls, daß die lineare Expansion von GLASTONE größer

ist als die von DUROC. Auch bestätigten diese Versuche, daß die Änderung des Wasser-Pulver-Verhältnisses die Expansion bei beiden Modellmaterialien geringgradig vermehrt. Alle mit dem Quellungsmeßgerät ermittelten Werte lagen um 0,014 % lin. bis 0,019 % lin. höher, als wir mit dem Meßmikroskop gefunden hatten. Diese größeren Expansionswerte lassen sich als zuzügliche Wärmeexpansion deuten, die sich nicht vollständig zurückbildete, da die in diesen Versuchen verwendete Gipsmenge bei etwa einem Kilogramm pro Versuch lag.

Da enge Verknüpfungen zwischen Abdruck- und Modellmaterial bestehen, haben wir außerdem das Dimensionsverhalten von DUROC und GLASTONE in Abhängigkeit von LASTIC 55 untersucht. Zuerst bestimmten wir anhand von 20 Versuchen das Dimensionsverhalten von DUROC- und GLASTONE-Modellen, die wir nach Abdrucknahme von einem stilisierten Kronenstumpf gewonnen hatten. Die vier vermessenen Strecken an den DUROC-Modellen zeigten eine Vergrößerung gegenüber dem Original von 0,09 % lin. bis 0,11 % lin., wo hingegen die GLASTONE-Modelle um 0,13 % lin. bis 0,15 % lin. größer waren. Dieser Befund deckte sich mit den Ergebnissen über die absolute Expansion, bei denen wir bei GLASTONE ebenfalls eine größere Expansion fanden als bei DUROC.

In einer weiteren Versuchsreihe benutzten wir unseren Versuchskörper in seiner Funktion als stilisierte approximal-okklusale Inlaykavität. Nach Abdrucknahme mit LASTIC 55 stellten wir DUROC- und GLASTONE-Modelle her. Bei den auf den Stümpfen angefertigten Inlays bestimmten wir mikroskopisch die Spaltbreite zwischen Inlay und Kavität. Dabei stellte sich heraus, daß bei allen Inlays an der zervikalen Stufe die größte Schrumpfung stattgefunden hatte in der Größenordnung von 63 μ bzw. 66 μ . Bezugnehmend auf DREYER JOERGENSEN sollte die Spaltbreite zwischen Inlay und Kavität bei zwei- und mehrflächigen Gußfüllungen nicht über 5 μ hinausgehen. In unserem Falle würde auch eine Abschrägung der Kavitätenwand den Spalt überbrücken. Durch Anfinieren und Polieren würde sich die restliche Spaltbildung noch erheblich verkleinern lassen.

Im Rahmen unserer Arbeit interessierte uns neben der Spaltbreite in ihrer absoluten Dimension vor allem, ob bei den auf DUROC- und den auf GLASTONE-Modellen modellierten Inlays die Spaltbreiten unter-

schiedlich groß sind. Ein Vergleich der errechneten Mittelwerte ergab, daß sich die Größenordnung der Spaltbreiten der auf DUROC- und GLASTONE-Modellen modellierten Inlays im gleichen Rahmen hielt. Die Spaltbreiten sind aber in den einzelnen Versuchen bei beiden Modellmaterialien großen Schwankungen unterworfen. Dies ist keinesfalls verwunderlich, wenn wir uns an die im Anfang unserer Arbeit aufgezeigten Möglichkeiten wie Deformierung, Kontraktion, Expansion usw. erinnern, die sich bis zur Fertigstellung des Gußobjektes auswirken können.

Unsere vergleichenden Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit einiger Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas mit dem RAUHTESTER (LEITZ WETZLAR) ergaben für die auf Gipsbasis aufgebauten Modellmaterialien ein verhältnismäßig rauhes Oberflächenbild, verglichen mit dem Kunststoff PALAVIT M, der eine Rauhtiefe von ca. einem Mikron hatte. MOLDANO zeigte von den Hartgipsen die günstigste Oberfläche mit $\pm 2,5/\mu$. Es folgten GLASTONE mit $\pm 3,5/\mu$ und DUROC mit $\pm 5,5/\mu$.

Da diese Ergebnisse mehr theoretischen als praktischen Wert besaßen, wurden in einer neuen Versuchsreihe die gleichen Modellmaterialien in Abhängigkeit von LASTIC 55 untersucht. Die Messung der Rauhtiefe erfolgte wieder mit dem RAUHTESTER. Auch hier zeigte PALAVIT M die besten Werte. Die Hartgipsgruppe führte wieder MOLDANO an mit einer Rauheit von $\pm 3,3/\mu$. GLASTONE bewies auch hier gegenüber DUROC, wenn auch nur geringste Vorteile auf. Die Rauhtiefe dieser beiden letztgenannten Materialien muß mit $\pm 5,9/\mu$ bzw. $\pm 6,0/\mu$ angegeben werden. Alle untersuchten Modellmaterialien zeigten in Abhängigkeit von LASTIC 55 eine ungünstigere Oberfläche als in Abhängigkeit von Glas.

Wie eingangs in der Arbeit gefordert, sollten aber die Modellmaterialien eine möglichst glatte Oberfläche haben, da eine rauhe Oberfläche ein Verziehen der Wachsmodellation begünstigt. In dieser Beziehung zeigte sich PALAVIT M am günstigsten. Aber solche auf reiner Kunststoffbasis aufgebauten Modellwerkstoffe haben nicht die wünschenswerten geringe Abbindeexpansion, sondern eine Kontraktion.

C. Zusammenfassung

Die von uns untersuchten und zur Gruppe der Hartgipse zählenden Modellwerkstoffe DUROC und GLASTONE (RANSOM & RANDOLPH CO., TOLEDO, OHIO) werden vorwiegend zum Ausgießen der bei der indirekten Inlay- bzw. Kronentechnik gewonnenen Abdrücke benutzt.

Da Expansion bzw. Kontraktion der Modellwerkstoffe einen großen Einfluß auf die Paßgenauigkeit des Gußobjektes besitzen, untersuchten wir das Dimensionsverhalten von DUROC und GLASTONE mit Hilfe einer eigens hierfür geschaffenen Versuchsanordnung und des WERKSTATTMESSESMIKROSKOPES WM 1 (LEITZ WETZLAR). Die ermittelten Ergebnisse untermauerten wir mit dem Quellungsmeßgerät für Gipse nach H. LEHMANN. Beide Versuchsreihen ergaben sowohl für DUROC als auch für GLASTONE eine Expansion, die bei GLASTONE um etwa 0,03 % lin. höher lag als bei DUROC. Änderungen des von der Herstellerfirma angegebenen Wasser-Pulver-Verhältnisses machten sich bei beiden Modellwerkstoffen stets mit einer geringen Zunahme der Expansion bemerkbar.

Da zwischen Modellmaterial und Abdruckmaterial ein enger Zusammenhang besteht, haben wir DUROC und GLASTONE auch in Abhängigkeit von LASTIC 55 untersucht. Diese Versuche zeigten, daß die mit den genannten Materialien hergestellten Modelle größer waren als das Original, und zwar bei DUROC um 0,09 % lin. bis 0,11 % lin. und bei GLASTONE um 0,13 % lin. bis 0,15 % lin.

In einer weiteren Versuchsreihe konnten wir ermitteln, daß der Unterschied in der Expansion von 0,03 % lin. zwischen DUROC und GLASTONE sich nicht auf die Paßgenauigkeit der Gußfüllungen auswirkt.

Vergleichende Untersuchungen der Oberflächenbeschaffenheit einiger Modellmaterialien in Abhängigkeit von Glas und von LASTIC 55 mit dem RAUHTESTER (LEITZ WETZLAR) ergaben, daß DUROC und GLASTONE eine relativ raue Oberfläche aufweisen. Die günstigsten Resultate zeigte der Kunststoff PALAVIT M. Aber auch der auf Gipsbasis aufgebaute Modellwerkstoff MOLDANO war DUROC und GLASTONE überlegen.

D. Literaturverzeichnis

- Ahrens, G. und
Naujoks, R. Vergleichende Untersuchungen an elastischen Abdruckmaterialien für die indirekte Inlaytechnik.
DZZ 1961, H. 6, S. 472
- Bonsack, Ch. Der heutige Stand des Gußproblems.
DZZ 1953, H. 1, S. 5; H. 2, S. 7
- Böttger, H. Erfahrungen mit Silikon-Abdruckmassen.
ZWR 1962, H. 18, S. 616
- Cohen, J. New Die Materials in Dentistry.
Reprint of Article appearing in Journal of the Michigan State Dental Association by permission of John Cohen, B.D. Sc., M.S.
- Deichmann, W. Untersuchungen über die Expansion von Gips.
Dtsch. Mschr. Zhk. 1927, H. 16, S. 739
- Deutsche Normen DIN 1168, Bl. 2
- Dreyer Joergensen, K. Kontrollierbare Präzisionstechnik für dentale Metallfüllungen.
Sonderdruck aus Tandlägebladet 1953, Nr. 2
- Eichner, K. Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung.
Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Fusajama, T. Faktoren und Technik beim Präzisionsguß.
Quintessenz 1959, H. 12, Ref. 1328
- Gerats, R. Dimensionsverhalten von nach einer Doppelabdruckmethode mit gummielastischen Abdruckmaterialien hergestellten Prüfkörpern.
DZZ 1963, H. 13, S. 725
- Haacke, R. und
Wandelt, S. Untersuchungsergebnisse über die Verwendung von Lastic 55 für die indirekte Inlaytechnik.
ZR 1959, H. 17, S. 435

- Keller, D. Untersuchungen über die Abformgenauigkeit der gummielastischen Silikon-Abdruckmasse Lastic 55.
Med. Diss. Marburg 1958
- Lehmann, H. und Kreuter, W. Über die Quellung von Gips.
Tonindustriezeitung und keramische Rundschau 1953, S. 298
- Leitz, E. GmbH. Wetzlar Begleitschreiben zum Oberflächenprüfgerät Rauhtester.
(86 - 4b R)
- Begleitschreiben zum Werkstattmeßmikroskop WM 1.
(81 - 1)
- Reichardt, R. Erfahrungen mit Lastic-Abdruckmaterial bei der indirekten Herstellung von Inlays.
DDZ 1960, H. 10, S. 707
- Schacke, W. Chemisch-physikalisch-technologische Untersuchung und Prüfung von Gips und seine Verwendbarkeit in der Zahnheilkunde.
Schwz. Monatsheft 1927, H. 5, S. 253
- Schreiner, K.H. Bedeutung der verschiedenen Erhärtungsstadien des Gipses bei der Bestimmung der Abbindezeit und Volumenveränderung.
Med. Diss. Köln 1936
- Schwindling, R. Über das chemisch-physikalische Verhalten der Alginat-Abdruckmassen bei Verwendung verschiedener Modellwerkstoffe.
DZZ 1954, H. 20, S. 1199
- Indirekte Bestimmung des Dimensionsverhaltens von Silikon-Abdruckmassen.
STOMA 1960, S. 121
- Schwindling, R. und Genieser, H. Volumenverhalten, Härte und Bruchfestigkeit neuer zahnärztlicher Hartgipse.
DZMK 1962, H. 5 - 10, S. 317
- Seger, H. und Cramer, E. Begleitschreiben zum Quellungsmeßgerät für Gips.
Chem. Laboratorium für Tonindustrie 6115, Bl. 1

Stüben, J. und
Hoppe, W.F.

Über die Verwendung gummielastischer
Materialien bei der indirekten Methode
zur Herstellung von Gußfüllungen.
DZZ 1961, H. 10, S. 716

Wannemacher, E.

Der Gips als Abdruckmaterial mit beson-
derer Berücksichtigung seiner Expansion.
Mschr. f. Zhkd. 1925, H. 8, S. 283

Weikart, P.

Grenzen und Prüfung der Gußgenauigkeit.
DZZ 1957, H. 3, S. 897

Wienhold, J.

Untersuchungen über die Volumen- und
Formveränderungen von Durit 20 und
Durit 40 - 22.
Med. Diss. Marburg 1962

Wilborn

Physikalische und technologische Prüf-
verfahren für Lacke und andere Rohstof-
fe.

Für die Überlassung des Themas und die ständige verständnisvolle Unterstützung möchte ich Herrn Professor Dr. H. Pantke herzlich danken.

Herrn Professor Dr. Dr. H. Heuser danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Lebenslauf

Am 20. März 1939 wurde ich als Sohn des Dekorateurs Wilhelm Herrnsdorf und seiner Ehefrau Angela geb. Reusch in Limburg (Lahn) geboren. Im Herbst 1946 trat ich dort in die Volksschule ein. Ab Ostern 1950 besuchte ich die Tilemann-Schule in Limburg, wo ich im März 1960 mein Abitur bestand.

Mein zahnärztliches Studium begann ich im Sommersemester 1960 an der Philipps-Universität Marburg a.d. Lahn. Dort bestand ich nach dem Sommersemester 1962 meine zahnärztliche Vorprüfung. Mein Staatsexamen beendete ich am 20. August 1965.

Seit dem 1. September 1965 arbeite ich an der Amerikanischen Zahnklinik in Butzbach (Oberhessen).

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität Marburg a.d. Lahn waren die Herren Professoren und Dozenten:

Braun-Falco, Dimroth, Dölle, Gedigh, Hennis, Hering, Heuser, Hornung, Janke, Korb, Kottmeyer, Lang, Mahr, Mann, Marx, Mauradt, Niessing, Oksche, Pantke, Petry, Rosemann, Schiff, Schmidt, Seidel, Siegert, Siess, Vogt, Walcher.

